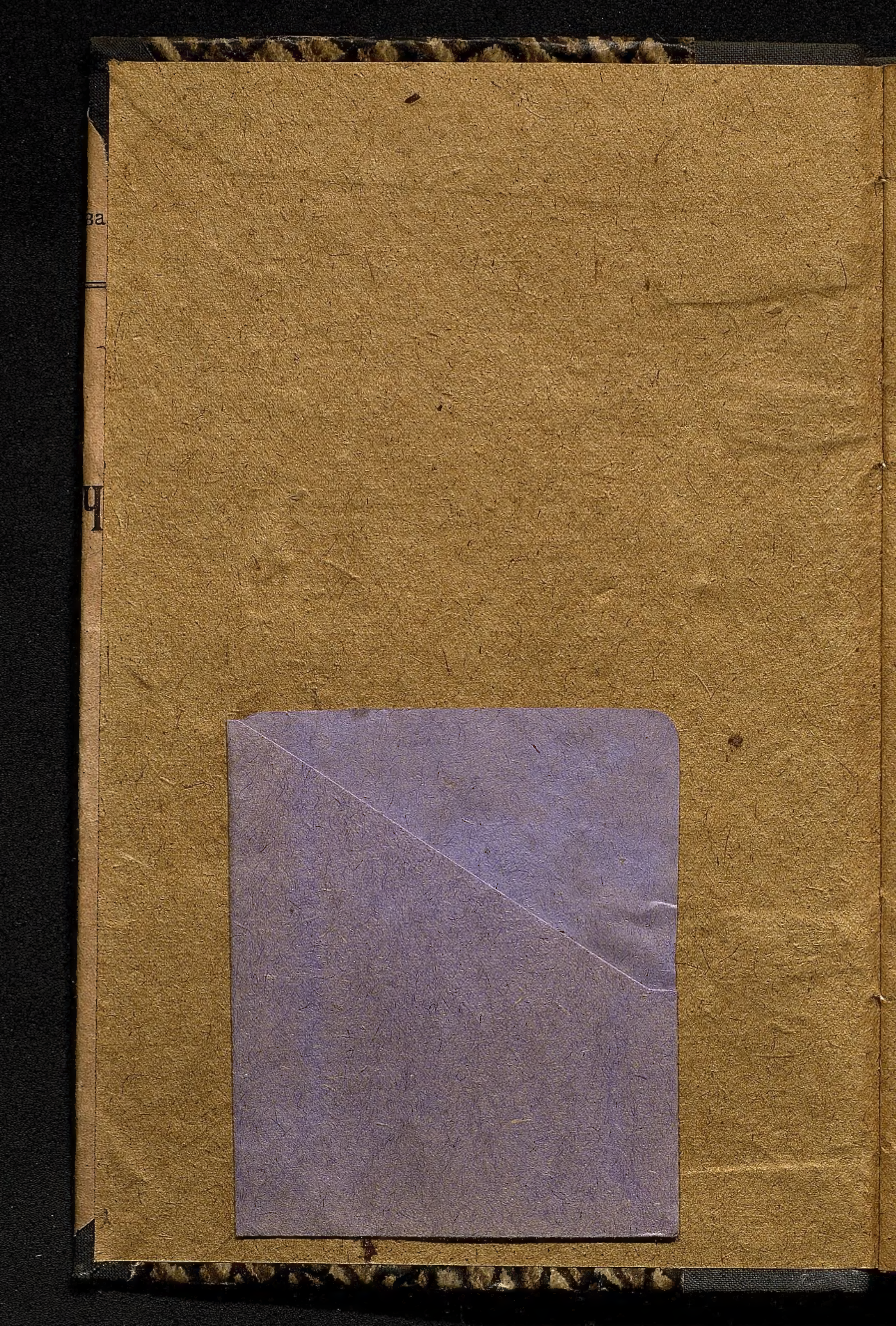
Труды Комиссии по Изучению Архива Д. К. Черно[ва]
при Русском Металлургическом Обществе

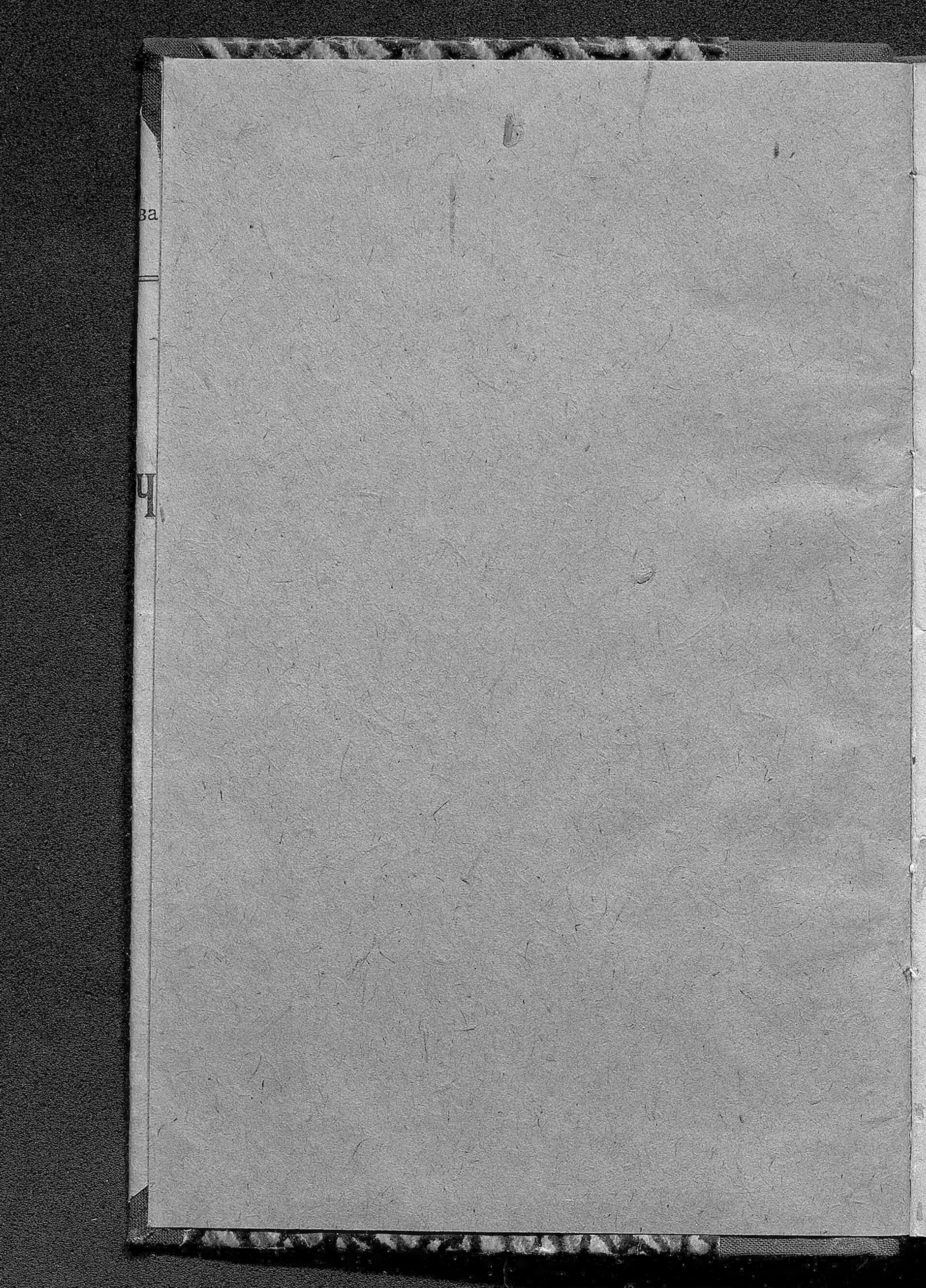
ДМИТРИЙ КОНСТАНТИНОВИ[Ч]
ЧЕРНОВ

(1839—1921)

ОЧЕРКИ ИЗ ЖИЗНИ И ДЕЯТЕЛЬНОСТИ,
ПОСМЕРТНЫЕ ПРОИЗВЕДЕНИЯ
И ИЗБРАННАЯ ПЕРЕПИСКА

НАУЧНОЕ ХИМИКО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТДЕЛ В. С. Н. Х.
ПЕТРОГРАД
1923





Труды Комиссии по Изучению Архива Д. К. Чернова
при Русском Металлургическом Обществе

ДМИТРИЙ КОНСТАНТИНОВИЧ ЧЕРНОВ

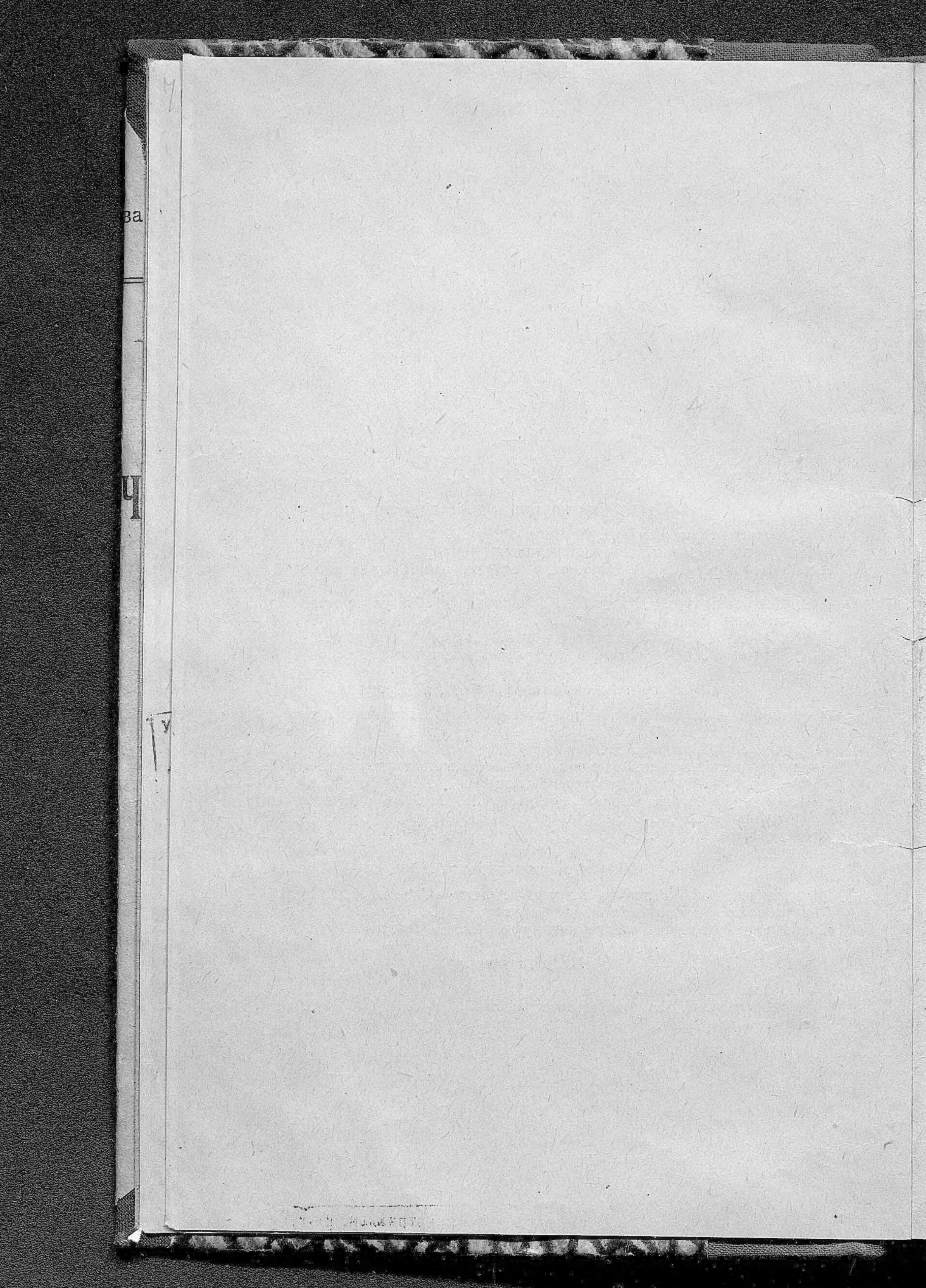
(1839—1921)

ОЧЕРКИ ИЗ ЖИЗНИ И ДЕЯТЕЛЬНОСТИ,
ПОСМЕРТНЫЕ ПРОИЗВЕДЕНИЯ
И ИЗБРАННАЯ ПЕРЕПИСКА

НАУЧНОЕ ХИМИКО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТДЕЛ В. С. Н. Х.
ПЕТРОГРАД
1923

Петрооблит № 7372. 2000 экз.
Типография „Красный Печатник". Петроград, Международный пр., 75.

ОГЛАВЛЕНИЕ.



ПРЕДИСЛОВИЕ.

Россия вступает в новую полосу жизни... На рубеже новой жизни необходимо вдуматься и оценить „старое", особенно то „старое", что для своего времени было революционно новым и что теперь, после испытания жизни, может быть оценено нами в его подлинной, неизбывной сущности.

Дмитрий Константинович Чернов был провозвестником новых идей в области Металлургии, казавшихся для своего времени не только новыми, но прямо дерзкими. Однако, теперь, спустя более $^1/_2$ столетия со времени их провозглашения, мы все хорошо знаем, что идеи его не только выдержали испытание жизни, но и послужили фундаментом для создания новой науки (Металлографии) и для движения вперед в мировом масштабе одной из важнейших отраслей техники (Металлургии стали). Это и значит, что идеи его для своего времени были подлинно новыми, подлинно революционными.

Д. К. Чернов выступил со своими идеями перед научным и техническим миром в 1868 г. Это было время, когда Россия, после освобождения крестьян и связанных с ним реформ, вступила в новую полосу жизни. Это было время широкого размаха мысли, стремительно и бурно прокладывающей новые пути буквально во всех областях науки, техники и жизни.

Д. К. Чернов был одним из центров кристаллизации новой мысли.

Характерно, что в 1868 г., одновременно с выступлением Д. К. Чернова с новыми идеями в области металлургии, выступил Д. И. Менделеев с новыми идеями в области химии (Периодическая система элементов и „Основы химии" были обнародованы в 1868 г.), и что, еще поразительнее, в том же году была напечатана „Война и мир" Л. Н. Толстого.

Случайно ли это? Мы полагаем, что нет. Мысль русского человека стремительно и бурно искала своих выразителей, и она нашла их в названных трех представителях, которым и суждено было высказать самое главное, самое заветное их жизни одновременно, в один и тот же год.

Казалось бы, что общего между небольшим по размерам и скромным по названию докладом Д. К. Чернова Русскому Техническому Обществу и „Основами химии" Д. И. Менделеева, и тем паче, что общего между двумя названными произведениями мысли и грандиозной по замыслу и размерам эпопеей Л. Н. Толстого. И вообще, что общего между этими тремя представителями русской мысли, столь, казалось бы, разными и по роду деятельности, и по жизни.

И, однако, если вдуматься, между ними глубокое родство. Роднит их прежде всего — размах мысли и широта обобщающих идей — как выражение несомненно общего у них духа, того высшего склада (типа) духовной организации, которым все они были наделены. Обладатели такого духа, в какой бы области они не выявляли себя (в науке, искусстве), в конечном счете устремляются к одному: к разгадке тайны жизни — того импульса жизни, о котором вопрошал Д. К. Чернов в своих „Афоризмах" („Где скрыт этот импульс жизни"), подходя к разгадке этой тайны лишь с разных сторон. Но не это только сближает их. Все они были необыкновенно упорны в отстаивании своих идей и самым упорным из них, быть может, был Д. К. Чернов. Им всем суждено было дожить до глубокой ста-

рости, изжить свою эпоху от начала до конца или почти до конца, умереть в ореоле славы...

Когда думаешь об этих трех титанах русской мысли, провиденциально высказавших в один и тот же год самое главное, самое заветное их жизни, сопоставляешь их идеи с процессом развития, на протяжении более, чем $^1/_2$ столетия, научной и социальной мысли вообще, невольно хочется воскликнуть:

— Какое удивительное явление, какая прекрасная, какая богатая и какая поучительная для молодых поколений России жизнь!

Д. К. Чернов скончался 2 января 1921 г. в Ялте. Русское Металлургическое Общество устроило 1-го июля 1921 г. торжественное заседание по случаю полугодового дня кончины своего Почетного Председателя. Результатом этого заседания было издание на средства Научно-Технического Отдела В. С. Н. Х. небольшого сборничка „Памяти Д. К. Чернова", в который вошли речи, произнесенные на этом заседании.

Этим, однако, заботы Р. М. О. об увековечении памяти Д. К. Чернова не могли ограничиться. После смерти Д. К., архив его был передан семьей покойного Русскому Металлургическому Обществу. Последнее, в заседании 16 сентября 1921 г., признало необходимым образовать специальную комиссию по изучению архива Д. К. Чернова и по подготовке к печати неизданных его трудов. В комиссию вошли, в качестве делового органа, следуюшие лица: А. Л. Бабошин (председатель, он же и редактор настоящего сборника), И. А. Крылов, Г. З. Нессельштраус, С. И. Дзеконский, П. Л. Ханыков и В. П. Цезаревский. Небольшие средства на работы комиссии были даны Петроградским отделением Н. Т. О., уполномоченным коего в то время состоял Н. М. Егоров, принимавший также близкое участие в работах комиссии.

Комиссия энергично принялась за дело. Помимо текущей работы по разборке и изучению архива, комиссия вскоре же приступила к организации коллективной публичной лекции, посвященной патяти Д. К. Чернова. По мысли комиссии, в лекции этой, в сжатой и по возможности популярной форме, должна была быть дана, с одной стороны, общая характеристика жизни и деятельности Д. К. Чернова, а с другой — охарактеризованы его главнейшие труды. Лекция эта была прочитана 2 января 1922 г. (в годовщину смерти Д. К.) в Доме Ученых и 4 февраля 1922 г. — в Горном Институте в составе лекторов: В. А. Яковлева, Г. З. Нессельштрауса, А. Л. Бабошина и И. А. Крылова.

Лекция эта целиком вошла в настоящий сборник, в I часть его „Очерки из жизни и деятельности Д. К. Чернова". Комиссия с большим удовлетворением должна отметить, что ей удалось пополнить эту часть сборника статьями Н. Т. Беляева и A. Portevin'a. Н. Т. Беляев, ныне находящийся в Лондоне, является одним из преданнейших учеников Д. К. Чернова, так много потрудившихся для прославления имени своего учителя и у нас в России, и заграницей. A. Portevin — один из ярких представителей французской школы металлографов.

Архив Д. К. Чернова оказался большим и разнообразным. С грустью поэтому приходится признать, что уже через три месяца после начала работ комиссия вынуждена была, за полным отсутствием средств, прекратить систематическую и планомерную работу. И тогда перед комиссией встал вопрос об использовании архива в рамках возможного.

Настоящий сборник и является таковым использованием архива Д. К. Чернова в рамках возможного.

Сборник состоит из трех частей: I. Очерки из жизни и деятельности Д. К. Чернова, II. Посмертные произведения Д. К. Чернова, III. Избранная переписка.

О I части сборника только что сказано.

II часть сборника является, конечно, самой главной, самой важной, в то же время для нас (комиссии) самой

ответственной. Сюда вошло шесть статей Д. К., напечатанных в хронологическом порядке.

Первая из них, „Лекция Д. К. Чернова, читанная им в Институте Инженеров Путей Сообщения 28 января 1886 г.“, оставлена в виде рукописи. Заглавия лекции не дано, но судя по содержанию, ей можно дать заглавие „О влиянии механической и термической обработки на свойства стали“. Только первые страницы этой рукописи написаны самим Д. К., остальное записано чужой рукой.

Трудно сказать, почему эта лекция не была напечатана при жизни Д. К. Возможно потому, что Д. К. считал, что все то, что изложено в этой лекции, имеется в других его опубликованных работах. Помещая эту лекцию в настоящем сборнике, мы счастливы сознанием, что она будет прочтена русскими читателями. На наш взгляд лекция эта носит в себе все черты, присущие гению Чернова. В ней очень ярко выявлено влияние обработки на свойства стали и, кроме того, весьма выпукло охарактеризовано явление закалки стали. Лекция потребовала большой редакционной работы.

Вторым номером стоит статья „О точке (b) Чернова“— это доклад Д. К., прочитанный им 17 апреля 1913 г., оставленный также в виде рукописи, записанной чужою рукою. Печатается без всяких изменений.

„Письмо проф. Д. К. Чернова редактору Ж. Р. М. О.“ впервые было напечатано в Ж. Р. М. О. за 1916 г. В настоящем сборнике это письмо перепечатывается потому, что еще при жизни, уже после того как оно было напечатано в Ж. Р. М. О., Д. К. внес в него некоторые дополнения со ссылками на литературу. Отдельный оттиск из Ж. Р. М. О. этого письма с добавлениями, сделанными на полях рукою Д. К., хранится в его архиве. С этого то экземпляра и была сделана перепечатка.

„Афоризмы из области металлургии стали“ — вот наследие, над которым нам больше всего пришлось повозиться и которое, — в том виде, как оно печатается в настоящем сборнике, требует настоятельной оговорки.

История „Афоризмов“ вкратце такова. В июле месяце 1914 г. Д. К. Черновым, в числе других выдающихся ученых в области металлографии, получено было письмо от проф. A. Sauveur'a (письмо это напечатано в настоящем сборнике) с призывом ответить на ряд вопросов, касающихся аллотропии железа и проблемы закалки стали.

„Получив такое приглашение (говорит Д. К. в „Предисловии“ к статье „Афоризмы“), уже после объявления войны, когда наши почтовые сношения с внешним миром были сильно расстроены, я счел более удобным и соответствующим положению дела, вместо категорических ответов на поставленные вопросы, сделать несколько отрывистых сообщений в Русском Металлургическом Обществе под общим заглавием „Афоризмы из области металлургии стали“ с тем, чтобы потом сделать сводку всего сказанного в общей статье, которая в настоящем виде и представляет мой личный взгляд на положение вопроса о тепловой обработке стали в связи с явлениями закалки“.

Сообщения на указанную тему в Русском Металлургическом Обществе были сделаны в четырех его заседаниях в течение 1914—1915 г.г., но „сводку всего сказанного в общей статье“, к глубокому сожалению, Д. К. не суждено было сделать. Болезнь и наступившие события не позволили ему довести до конца подготовку докладов к печати.

„Афоризмы“ оставлены в виде четырех докладов, написанных на машинке по стенографической записи, с большим количеством ошибок и пропусков—словом в совершенно сыром виде. К обработке их Д. К. успел только лишь приступить. Написано было им собственноручно (но не закончено) „Предисловие“. Просмотрен был первый доклад. Этот доклад, не в пример прочим трем, оставлен со многими поправками и дополнениями на полях, сделанными собственноручно Д. К. Доклад этот использован нами целиком. К остальным докладам рука Д. К. почти не касалась. Остальные доклады, поэтому, использованы нами лишь в тех частях, которые касаются проблемы закалки стали и магнитных свойств железа.

Считая, что „закалка стали для сколько-нибудь ясного ее понимания требует установления основных понятий о силах, действующих в природе, и о формах проявления их в том или ином виде превращений мировой энергии“, Д. К. в своих „Афоризмах“ большое внимание уделяет общим вопросам мироздания (закону всемирного тяготения, движению комет, вихревому движению), аналогиям из мертвой и живой природы и пр.

Как ни хотелось бы использовать, для полноты картины, и эту часть „Афоризмов“, комиссия все же, в полном сознании ответственности перед памятью покойного, не сочла возможным затрагивать в настоящем сборнике этого рода вопросы [1]), тем более, что записаны они в докладах с пропусками, очень спутанно и с ошибками.

Что касается формы изложения „Афоризмов“, то мы старались сохранить ее по возможности без изменения, такою, как она отражена в докладах — форму разговорной речи, беседы, а не систематического изложения вопросов.

Вот эти оговорки мы и считаем необходимым сделать: они облегчают нашу ответственность. Только при этих оговорках, мы можем питать некоторую надежду, что читатель сможет примириться с тем, что мы преподносим ему под именем „Афоризмов из области металлургии стали“.

Наконец, „Невозможное“ — самое последнее произведение мысли Д. К. Чернова — касается математических проблем. Это — доклад, прочитанный Д. К. в Ялте в марте 1920 г., за несколько месяцев до смерти. Он свидетельствует о том, что мысль Д. К. Чернова, несмотря на старческие его годы и условия жизни последнего времени, работала до конца и работала интенсивно. В том, что мысль Д. К., в последние месяцы его жизни работала, именно, в направлении разрешения проблем „Невозможного“, ничего нет неожиданного. Уже в „Афоризмах“ мы замечаем необычайную тягу его ума к вопросам общего характера,

[1]) Некоторые, впрочем, выдержки из этой части „Афоризмов“ для характеристики умонастроения Д. К. даны в статье А. Л. Бабошина.

к разгадке тайны мироздания. Мир молекул завладевает им всецело. Загадочное, „невозможное" влечет его неотразимо. В этот таинственный мир он погружается, как в нирвану, до конца дней своих, буквально до последнего вздоха.

Печатается „Невозможное" с некоторыми небольшими пропусками, без чертежей. Корректуру этой статьи любезно принял на себя проф. А. М. Журавский. Им же дана историческая справка по затронутым в статье вопросам.

III часть сборника „Избранная переписка", по техническим причинам издания, вышла очень короткой. Сюда вошли письма, имеющие лишь самое непосредственное отношение к печатаемым трудам Д. К., а именно: письмо Совёра (Sauveur), о котором упоминалось выше, и переписка Д. К. с проф. Гейном (Heyn). Письма Гейна (ныне тоже покойного) написаны по русски (это был едва ли не единственный из иностранных профессоров, знавших русский язык). Они печатаются без изменения (с поправками лишь на орфографию).

В архиве Д. К. Чернова имеется большая коллекция переписки Д. К. с разными лицами и учреждениями по разным вопросам и поводам. Не надо забывать, что Д. К. в течение своей долгой жизни, был связан не только с научными и учебными учреждениями (Артиллерийской Академией, Политехническим и Технологическим Институтами) и в молодости службою на Обуховском заводе, но ему много пришлось работать также в разных ведомствах: Морском, Военном, Путей Сообщения, Торговли и Промышленности. В архиве Д. К. Чернова имеется масса ценного материала, в связи с работою его в разных ведомствах, по вопросам самого разнообразного характера. Не подлежит сомнению, что в архивах этих ведомств имеется также весьма ценный материал в этом отношении.

Начиная работу, комиссия понимала свою задачу не только в рамках изучения тех материалов, которые переданы были Русскому Металлургическому Обществу семьей покойного, но и собирания материалов на стороне, касающихся деятельности Д. К. Некоторые практические

шаги по собиранию материалов в недрах ведомств уже были сделаны.

Комиссия надеется, что в недалеком будущем к архиву Д. К. Чернова еще придется вернуться, и тогда будет использован и опубликован весь тот ценный и разнообразный материал практического характера, который, к сожалению, совершенно не использован в настоящем сборнике. Настоящий же сборник комиссия рассматривает, как весьма ценное дополнение к „Трудам“ Д. К. Чернова, собранным и опубликованным в Ж. Р. М. О. за 1915 г. № 1.

В заключение считаем своим долгом принести глубокую благодарность Научному Химико-Техническому Издательству, в лице его Редакционного Совета и заведывающего издательством М. А. Блоха, за понесенные труды по изданию настоящего сборника. Мы не знаем, окупятся ли затраты на это издание при настоящих тяжелых условиях книжного рынка, но в том, что издательство получит нравственное удовлетворение — и от сознания выполненного им перед русской наукой и техникой долга, и от признательного и благодарного отношения русского читателя, — в этом мы не сомневаемся.

Председатель Комиссии *А. Бабошин.*

Петроград, 12 июня 1923 г.

ва

ч

I.

ОЧЕРКИ ИЗ ЖИЗНИ И ДЕЯТЕЛЬНОСТИ.

ва

Ч

ПРОФЕССОР Д. К. ЧЕРНОВ.

1839 — 1921.

Н. Т. БЕЛЯЕВ.

Второго января 1921 года скончался в Ялте профессор Д. К. Чернов, „Отец металлографии железа“.

С Д. К. Черновым уходит в прошлое целая эпоха в истории русской металлургии, русской науки. Первые работы его относятся к середине шестидесятых годов, а замечательный доклад его о критических точках в стали был сделан в том-же 1868 году, когда Менделеев опубликовал свой мемуар о периодической системе. Пока жив был Дмитрий Константинович, все казалось, что не утрачена живая преемственная связь с этим славным прошлым, но Чернова не стало, и осиротела русская металлургия.

Д. К. Чернов родился в Петрограде 1 ноября 1839 г. Девятнадцатилетним юношей окончил он Технологический Институт и затем поступил еще на 3 года на математический факультет Петроградского Университета. Затем, при Университете, он несколько лет читал математику, а с 1863 года вернулся в Технологический Институт, помощником заведующего библиотекой.

Там он и оставался до 1866 года, когда Обухов пригласил его на свой сталелитейный завод. Эти подготовительные годы с 1860 по 1866, проведенные частью в занятиях чистой математикой, частью в трудах по классификации большой научной и технической библиотеки, были, наверно, плодотворны для его будущей практической деятельности инженера-металлурга, и в них, быть может, следует искать объяснение того необычайного научного прозрения, которыми отличаются его научные работы, прозрения столь изумительного, что даже Гадолин счел своим долгом отметить необычайную научность работ молодого тогда заводского инженера, а Осмонд, 20 лет спустя, писал, что вся физическая химия находится в зародыше в знаменитом мемуаре Чернова.

То же прозрение заслужило Чернову посвящение ему, как отцу металлографии железа, классического исследования Henry M. Howe о железе, стали и прочих сплавах.

Главным научным трудом Дмитрия Константиновича Чернова является его исследование о критических точках в стали, доложенное Русскому Техническому Обществу в 1868 г.[1]).

Приготовление стальных орудий началось в России всего лишь лет за 10 до этого доклада. Дело было относительно новым, учиться было не у кого. За границей его начинал вести лишь один Крупп, но держал в строжайшей тайне; у себя дома лишь на одном Златоустовском заводе, где еще теплились традиции Аносова, велось сталелитейное дело, но и то в весьма ограниченном размере. При этих условиях масса затруднений окружало и литье стали, и ковку болванки, и тепловую обработку. Работы Лаврова и Калакуцкого о ликвации и об удельных весах стали показались поэтому Чернову заслуживающими самого серьезного внимания, и он посвятил им мастерской разбор, который должен был ознакомить с результатами их исследований всех выдающихся техников и металлургов: при этом Дмитрий Константинович решил ознакомить Техническое Общество и с своими собственными исследованиями и наблюдениями над свойствами и структурой стали.

Эти наблюдения по своей яркости и новизне сразу привлекли всеобщее внимание.

Научный и технический мир почувствовал, что в докладе молодого инженера есть нечто большее, чем критический разбор хотя-бы и талантливой технической работы, почувствовал, что наблюдения, сделанные в заводской мастерской над раскаленными болванками, под шум и грохот молота, глубоко проникают в свойства материи и дают возможность поставить научно и рационально всю огромную область сталепушечного дела. О том, что наблюдения Д. К. Чернова послужат отправной точкой для развития целой новой области физической химии — теории сплавов, об этом тогда никто не думал, да и не мог думать.

Доклад вызвал оживленные прения, со многим не соглашались и в возможность многого не хотели верить, но настроение присутствовавших было повышенное, и все чувствовали справедливость заключительных слов Д. К. Чернова: „Вопрос о ковке стали, при движении его вперед, не сойдет с того пути, на который мы его сегодня, поставили“.

Куда-же вел этот путь? — Он вел 1) к определению, т. н., критических точек, т. е. температур, при которых совершаются в стали

---

[1]) „Критический обзор статей г. г. Лаврова и Калакуцкого о стали и стальных орудиях и собственные Д. К. Чернова исследования по этому-же предмету“. „Записки И. Р. Т. О.“ 1868 года, стр. 399-409 и беседы 20 апреля, 2-го и 11-го мая. Самые статьи Лаврова помещены в Артиллерийском журнале за 1866 г., №№ — 10 и 11, а Калакуцкого — там-же за 1867 год; №№ 5, 7, 9 и 10.

те или иные превращения; 2) далее, к рациональному использованию этих точек, т. е. к ведению тепловой обработки в точных пределах определенных опытом температур и к исследованию свойств металла *до* и *после* известной температуры.

Чтобы яснее представить закон изменения структуры стали от ее нагревания, Д. К. Черновым в вышеуказанном мемуаре изображены были графически соотношения между температурами нагрева и свойствами стали, для чего на прямой линии, как на термометрической шкале, были намечены некоторые особенные точки, а именно точка „о", означающая нулевую точку, точка „а", соответствующая темновишневому калению, „b" — красному неблестящему и „с" — температуре плавления; следует заметить, что точки а, b и с в известных пределах перемещаются по шкале, удаляясь вверх для мягкой стали и несколько опускаясь для твердой; эти перемещения происходят, вообще говоря, с разными скоростями.

Значение точки „а" заключается в том, что „сталь, как-бы тверда она ни была, будучи нагрета ниже точки „а", не принимает закалки, как-бы быстро ее не охлаждали; напротив она становится значительно мягче и легче обрабатывается пилой" [1]).

Что-же касается точки b, то „сталь, нагретая ниже точки b, не изменяет своей структуры, медленно ли или быстро после того она охлаждается": при нагревании-же за точку b, „сталь переходит из зернистого (или вообще говоря, кристаллического) в *аморфное*, воскообразное состояние, которое и удерживает при дальнейшем нагревании до самой точки плавления, т. е. до точки с". [2]).

Практическое значение точек а и b было огромно; точка „а" давала возможность правильно находить температуры закалки, точка „b" вносила понятие об изменении структуры стали при нагревании; последнее было особенно важно, так как позволяло установить правильные пределы для температур, при коих следовало кончать ковку и, далее, открывало путь к ряду чрезвычайно важных термических обработок, которые можно объединить под названием „фиксации структуры".

По отношению к ковке Д. К. Чернов, резюмируя свои выводы, дал указание: „после нагрева болванки до высокой температуры, ковать ее до тех пор, пока она не остынет до температуры, обозначенной мной точкой b; тогда, вместе с изменением куска в данную форму, мы не дадим ему кристаллизоваться и по возможности приблизим структуру его к аморфной массе" [3]); по поводу фиксации структуры, Д. К. Чернов говорит следующее: „для того, чтобы

---

[1]) Записки И. Р. Т. О. 1868, стр. 427.
[2]) Записки И. Р. Т. О. 1868 г. стр. 428.
[3]) Там-же.

задержать аморфное состояние, и тем увеличить сопротивление болванки, нужно погрузить ее после нагрева в воду“ [1]).

Главные современные тепловые обработки, как, напр., „отжиг в масле“ „двойная закалка“, „термическая рафинировка“ и многие другие — все они или основаны на только-что цитированных работах Чернова, или представляют точное выполнение его указаний.

Так, например, в броневом деле постоянно применяется отжиг в масле и в воде, в пушечном — отжиг в масле; то-же самое мы видим и в отжиге отливок, и в обработке бандажей и рельсов. Словом, можно сказать, что большая часть выпускаемых и выпущенных стальных изделий обработана по методу Д. К. Чернова.

Научное значение указанного мемуара было не менее важно. Достаточно упомянуть, что нижняя часть диаграммы сплавов железо-углерод — представляет ни что иное, как распространение шкалы Чернова для различных содержаний углерода (см. фиг. I и фиг. II).

На фигуре I отмечены критические точки Чернова для содержания углерода в 0,5%, и указано направление их движений, в зависимости от изменения содержания последнего; на фиг. II нанесена левая половина современной диаграммы, с обозначениями Осмонда, который, сохранив обозначение Чернова „a“, сделал его общим для всех критических точек, но лишь, для удобства печатания, взял „A“ вместо „a“. Так получились точки Осмонда A_1, A_2 и A_3. Первая из них отвечает точке „a“, последняя — точке „b“, средняя-же взята для обозначения магнитных превращений.

Таким образом, с одной стороны, совокупность точек „A“ Осмонда дает нашу диаграмму железо-углерод, а, с другой стороны, как указал сам Осмонд, его точки являются не чем иным, как развитием точек Чернова.

В 1878 году Д. К. Чернов сделал в Русском Техническом Обществе следующий замечательный доклад под названием; „Исследования, относящиеся до структуры литых стальных болванок“.

В этом докладе он остановился над всеми недостатками стальных отливок: т. е. усадочной пустотой, раковинами, пузырями и т. д., но при этом он попутно нарисовал такую картину затвердевания стальной болванки, которая навсегда стала классической. Он указал, как, „рассматривая стены усадочных пустот, мы замечаем, что они усеяны мелкими кристаллическими ростками, образующими друзы нагроможденных друг на друга стальных кристаллов“ [2]), как далее,

---

[1]) Там-же. Далее Д. К. Чернов указывает, что стали следует дать охладиться в воде только до темно-бурого цвета, т. е. немного ниже точки „a“. Более-же резкое охлаждение может вызвать внутреннее натяжение и даже закалку.

[2]) „О структуре литых стальных болванок“. СПБ. 1879 года.

„рассматривая под микроскопом отдельные кристаллы, мы видим, что они принадлежат к разрывным кристаллам, с наибольшим развитием ростков по направлению октаэдрических осей..., которые иногда образуют буквально сетчатые стропила октаэдрического кристалла“ [1]). Как этот доклад, так и последующие лекции и сообщения Д. К. Чернова на тему о кристаллизации стали дышат необычайной убедительностью ученого, глубоко заглянувшего в тайны природы, и, вместе с тем, дают такую художественную картину кристаллизации, что многие ученики и последователи его прямо влюблялись в „кристаллизацию“, думали этими образами, старались везде найти ее примеры.

Один из учеников Дмитрия Константиновича, капитан Берсенев, был послан приемщиком на один из больших заводов. В груде мусора он нашел великолепный стальной кристалл из усадочной пустоты 100-тонной болванки фиг. IV (см. прилагаемый снимок).

На заводе всем было некогда, и никто не интересовался кристаллом, и его с радостью отдали Берсеневу, а Берсенев отвез его своему учителю, и „Кристалл Чернова“ попал во все учебники по сталелитейному делу и понес за собой имя Чернова во все страны.

В 1889 году Д. К. Чернов был приглашен тогдашним Начальником Михайловской Артиллерийской Академии Генералом Демяненковым на кафедру профессора металлургии и сталелитейного дела.

С этого года он начал знакомить своих слушателей с сущностью своих работ по стали, и каждый выпуск уходил обвороженный мощью и свежестью его идей и заражался любовью к стали, да и вообще к науке; так в изложении Дмитрия Константиновича все оживало, и во всем чувствовалось биение жизни, прекрасной, правильной и величественной.

Одной из самых увлекательных лекций всегда бывала его лекция о булате и об Аносове; поездка на Урал, встреча с старым „Аносовским“ кузнецом, „таинственный“ булат, его необычайные свойства, необычайная красота — все это казалось нам упоительным романом, и многие из его учеников в своей последующей деятельности не раз вспоминали эту лекцию [2]).

Так же увлекательно Дмитрий Константинович изложил вопрос о применении спектроскопа при бессемеровании, о выгарании стальных орудий, о поверхностных напряжениях, (линии Чернова — Людерса), о строении кристаллов и об изменении в их структуре при нагревании [3]). Последний вопрос особенно занимал его, и уже в 1916 году, из Ялты, куда он переехал лечиться от инфлюэнцы,

---

[1]) Там-же.

[2]) См. Записки Михайловской Артиллерийской Академии „Сталелитейное Дело“ 1906, стр. 31.

[3]) Там-же.

Дмитрий Константинович послал письмо редакции Русского Металлургического Общества, где он подробно рассмотрел снова вопрос о точке „b“ и о переходе при нагревании стали из кристаллического состояния в аморфное [1]).

Я помню время, когда взгляды Чернова на „аморфную“ сталь вызывали у многих, особенно представителей „современных“ научных течений, не только недоверие, но прямо недоумение, но Дмитрий Константинович дожил до того дня, когда не только сущность его взглядов стала разделяться многими учеными за границей, но когда и самое название „аморфный“ металл стало становиться все более и более модным. Правда, что на это потребовалось около 50 лет.

До самых последних дней своей жизни Дмитрий Константинович не переставал работать. В крайне тяжелой материальной обстановке, „без книг, без пособий, при отсутствии необходимого питания, даже теплого платья, он не терял бодрости духа и отдавал все свои силы науке: читал доклады о стали, лекции в Техникуме, а также много работал над разрешением некоторых математических проблем, результатом чего был прочитанный им в марте 1920 года доклад под заглавием — *Невозможное* — о трисекции угла, о выпрямлении окружности и о квадратуре круга“ [2]).

Невольно вспоминается мне другая картина: большой особняк на Песочной с чудным садом, Дмитрий Константинович в своем кабинете, среди любимых книг, любимых скрипок [3]), где все носит отпечаток его необычайного творческого ума, его глубокой души, горячего сердца.

И тогда его занимали те-же вопросы, и тогда „невозможное“ манило его, манило туда в даль и глубь математических загадок и еще дальше „по ту сторону“.

Дмитрий Константинович Чернов, на склоне своих 80 с лишним лет, голодный и холодный, продолжал работать и думать о „невозможном“ [4]), думать, как он всегда думал, не отделяя мечты от России, от своей России, для которой отдал он всю жизнь и весь свой гений.

---

[1]) Записки Русского Металлургического Общества 1916 г.

[2]) Из письма.

[3]) Д. К. Чернов был большим любителем камерной музыки; между прочим, он задался целью воспроизвести образцы скрипок, не уступавших по тону и качеству звука лучшим итальянским. Действительно, скрипки Чернова отличались необычайными качествами и неоднократно публично конкурировали с лучшими Amati и Stradivarius.

[4]) См. статью Д. К. Чернова „Невозможное“, стр. 162.

ДМИТРИЙ КОНСТАНТИНОВИЧ ЧЕРНОВ [1]).

(1839—1921).

ALBERT PORTEVIN.

В лице профессора Дмитрия Константиновича Чернова сошел в могилу (2 января 1921 г.) один из самых крупных представителей металлургической науки. Его имя связано с двумя капитальными открытиями, послужившими фундаментом почти для всех последующих исследований в области стали, а именно: открытием критических точек и открытием связи между структурой и тепловой обработкой стали.

Д. К. Чернов родился в Петрограде 1 ноября 1839 года. По окончании Технологического Института он был оставлен при нем в качестве преподавателя математики. Будучи преподавателем, он одновременно проходил курс физико-математического факультета Петроградского Университета. В 1866 г. Чернов, покинувши Институт, поступил на Обуховский сталелитейный завод, незадолго перед тем основанный, где специализировался по изготовлению стальных орудий. На заводе он пробыл до 1880 г., — и это был период, в течение которого появились всем известные его труды по термической обработке, кристаллизации и металлографии стали.

Оставив в 1880 г. службу на заводе, Чернов перебрасывается на Юг России, где открывает и ведет разработку соляных месторождений. Это предприятие, увенчавшееся успехом, доставило ему известные материальные средства, а средства принесли и некоторую свободу действий. Вернувшись в 1884 г. в Петроград, Чернов получает должность главного инженера по испытанию и освидетельствованию заказов Министерства Путей Сообщения. В 1889 году он получает кафедру металлургии в Михайловской Артиллерийской Академии, которую и занимает вплоть до начала русской революции. События последних лет заставили Д. К. Чернова остаться в Ялте (Крым), где он обычно по временам отдыхал от своих занятий, на долгое время вместе с его семьей (женою и дочерью). Страдая от голода и недостатка в одежде, лишенный книг и своей лаборатории, Чернов продолжал, тем не менее, свою работу, делая частые

[1]) Статья, помещенная в „Revue de Métallurgie" за 1921 год. Переведена с французского А. Л. Бабошиным.

сообщения местному Техническому Обществу, между прочим касающиеся и математических проблем. Однако, он не мог уже долго сопротивляться лишениям. В Ялте пришла смерть.

Чернов был провозвестником и главою новой школы; его первые труды послужили фундаментом для последующего удивительного прогресса в области металлургии стали, для которой вторжение науки оказалось поистине революционным.

В мемуаре 1868 г., который стал известен во Франции лишь девять лет спустя, Чернов уподобил сталь соляному раствору и указал на существование предельных температур, от которых зависит способность стали принимать или не принимать закалку, изменять или не изменять свою структуру. Это были точки, которые он обозначил буквами (*a*) и (*b*), и положение которых могло быть определено им только на глаз, по цвету каления металла, за неименением в то время других средств для измерения высоких температур— средств, которые даны были нам лишь впоследствии H. Le Chatelier. В 1886 г. Osmond, воспользовавшись термопарою H. Le Chatelier, определил положение критических точек в стали точнее, в градусах термометрической шкалы и истолковал их смысл и значение. Таким образом, в этом фундаментальном открытии сошлись имена трех основателей научной металлургии: Чернова, Osmond'а и H. Le Chatelier. Помянем первых двух, связанных при жизни узами тесной дружбы и уже отошедших от нас: Осмонда и Чернова.

Здесь не место вдаваться в перечисление трудов Чернова: в „Revue de Métallurgie“ в октябрьском номере за 1915 г., по случаю 75-летия жизни Чернова, дан был перечень его работ, и напечатаны главнейшие из его мемуаров. Между этими мемуарами мы особенно хотели бы отметить два: мемуар, касающийся структуры литой стали, и мемуар, трактующий о выгорании каналов в стальных орудиях. В первом мемуаре Чернов дает анализ, сделавшийся уже классическим, кристаллической структуры стальных болванок, который в дальнейшем послужил основою для изучения макроструктуры стали вообще, изучения, которое так блестяще было продолжено его последователями и учениками. Второй (равным образом напечатанный в октябрьской книжке 1915 г. „Revue de Métallurgie“) мемуар может служить образцом наблюдательности и анализа очень сложного явления, для которого автор дал блестящее объяснение, удивляющее своей простотою и ясностью. Вот этот дар наблюдательности, эта проникновенность в анализ явлений и эта широта обобщений — отличительные черты трудов Чернова, — черты, изобличающие в нем ум необыкновенный.

Не замыкаясь всецело в круг металлургических вопросов, Чернов показал разносторонность и гибкость своих дарований, интересуясь и разными другими отраслями знаний, как-то: астрономией, ботаникой

и авиацией. Он обнаруживал также особенную склонность к занятиям фотографией и музыкою. Построивши свою собственную теорию, относящуюся до расположения фибр дерева в скрипичной коробке (деке) для наилучшей ее звучности, Чернов собственноручно изготовлял скрипки высокого достоинства.

Честность и прямота простой, скромной и всецело посвященной труду жизни, в кругу своей семьи и друзей, и возвышенность его чувств привлекали к нему всеобщие симпатии и расположение во всех странах, особенно во Франции, дружеские чувства к которой он сохранил до конца.

Один из верных французских друзей Чернова, Alexandre Pourcel, которого он знал еще с 1878 г., в сентябре 1914 г. получил от него, по случаю первой битвы на Марне, телеграмму, заканчивавшуюся словами: „Искренно поздравляю всех моих французских друзей по случаю великой победы“ — слова, которые лучше всего свидетельствуют о чувствах Чернова к нашей стране.

Столь прекрасная жизнь, получившая мировую оценку, делает великую честь России.

Д. К. ЧЕРНОВ
И ЕГО ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ТЕХНИКИ И НАУКИ.

В. А. ЯКОВЛЕВ.

(Лекция, прочитанная в Доме Ученых в 1922 г.).

В этой зале Дома Ученых мне особенно будет приятно перед собравшимися слушателями дать характеристику трудов одного из отошедших в вечность ученых, дать краткое жизне описание Дмитрия Константиновича Чернова.

Я уверен, что, как бы неискусна ни была моя речь, сами факты этой многознаменательной жизни, одни указания на достигнутые Д. К. Черновым результаты будут говорить за себя и наполнят собравшихся здесь гордостью, что мы были—одни современниками, другие учениками, третьи сотрудниками и продолжателями трудов человека, высоко поставившего в мире имя русского ученого и техника. Ведь Чернова весь образованный мир в наш стальной век признал отцом научного способа обращения с железом и сталью, способа, дающего возможность извлеченному из железных руд металлу и его сплавам с другими металлами придавать наилучшие качества и делать из него наиболее действительные орудия для борьбы со стремящимися нас поглотить стихиями. А что значит замедление темпа в этой борьбе, ослабление биения научно-технического пульса в стране, это ныне становится, к счастью, понятным многим и многим, правда, на основании опыта, очень тяжело ложащегося на жизнь и здоровье ныне живущих поколений. После этого краткого вступления позвольте мне по моему обычаю, обращаясь к настоящему предмету моей речи, сказать вам краткое изречение, motto, отрывок из св. Писания, всплывший в моей памяти, когда я обдумывал настоящую речь.

... Творяй ангелы своя духи и слуги своя пламень огненный...

Повелевать громами, зажигающими леса и построенные из деревьев жилища человеческие, возжигать трудно угасимые, кажу-

щиеся вечными огни, вырывающиеся из земли, наводить ужас на дрожащую тварь людскую и звериную морем пламени лесных и степных пожаров, делать исполнителями своей всесокрушающей воли дуновения ветров и ураганов—все это было в старых мифах предоставлено божеству, какое бы имя оно не носило—Озирис, Зевес, Яхве.

В тех же мифах вырисовываются образы героев-титанов, вступающих в борьбу с олимпийцами и другими обитателями небесных чертогов, чтобы овладеть этой властью над огнем, заставить это орудие божества — жгучее, палящее пламя—служить человечеству, покорить людской воле эти дуновения, этих духов, заставить посланников божества работать против враждебных человеку стихий—против земли и воды и тем подчинить человеческой воле грозно бушующий хаос стихий. В этой борьбе вся история человеческой культуры под всеми широтами и во все века.

Герметически охраняемые тайны познания египетских жрецов, домыслы греческих философов, пытливые искания арабских математиков и алхимиков, пройдя сквозь тьму средних веков, возродились в Светлой Италии, дали Галилея, Леонардо да-Винчи. Эллинский дух потомков Прометея, проникая в лучшие умы северных варваров через Бэконовский метод, поставил дело борьбы со стихиями, дело покорения природы на верный и давший неисчислимые победы человечеству путь.

Наблюдай, размышляй, делай обобщения, выводи законы, проверяй их опытом и победишь!

Так народилась порода людей, накопляющих непрерывно длящийся веками опыт науки, опыт кропотливого исследования и наблюдения иногда над мимолетными явлениями, иногда над ставшими привычными и потому почти незамечаемыми явлениями, будь то световой оттенок остывающего куска металла, будь то изменение его упругости или крепости от нагрева или быстрого охлаждения.

Начало железной эры человеческой культуры скрывается в глубине веков. В Дели в Индии до сих пор стоит незыблемо памятник забытых поколениями побед забытых властителей—стальная колонна громадного веса. Кто и как поставил его, об этом происходят интересные споры и исследования—одно только из них ясно, что во времена, когда еще в Европе ни о чем подобном не могли мечтать, в недрах Азии находились силы и средства организовать грандиозные металлургические работы.

А дамасское и толедское холодное ручное булатное оружие, разве оно не пришло в Европу оттуда же — из глубины Азии, из Индостана через Персию в Аравию и Испанию?

Руки многих кузнецов, многих народов ковали из железа и его сплава с углеродом, который в случае малого содержания углерода

мы называем сталью, оружие и доспехи. Много глаз в темноте кузниц следило за нагревом металла, за тем, как, накаляясь в огне, этот темно-серый, покрывающийся черною окалиной металл становится темно-красным, вишнево-красным, светлеет, накопляя желтые тона, становится оранжевым, ярко-желтым и ослепительно желто-белым, солнечным.

Много глаз наблюдало, как обратно быстро пробегает при охлаждении эта гамма оттенков, но только в XIX столетии Гор подметил связь между вспышкой погасающего света в охлаждающемся куске разогретого до-бела железа (рекалесценция) и его магнитными свойствами.

Но осветить, собрать воедино и объяснить связь между этими отдельными наблюдениями дано было полностью только сыну русского народа, Д. К. Чернову, в шестидесятых годах прошлого столетия.

Не я, другие объяснят вам подробно, в чем тут дело, но я отмечу здесь одно: лишь следуя точно приведенному раньше мною Бэконовскому методу исследования и наблюдения, предпринимая по своей задуманной схеме опыты со сталью и железом, руководимый вместе с тем не только индукцией, разумом, но и чем-то находящимся за порогом нашего сознания, т. е., тем, что мы называем интуицией, Д. К. Чернов научил все человечество на вечные времена непреложным основам научного обращения с металлом, первенствующим по своему значению в материальной культуре человечества.

Неугасимо пытливый дух Чернова, пламенно любящий науку и труд, осененный и освещенный, как ореолом, пламенем этой любви к научному исследованию, угадал тайну природы, вырвал из тьмы и поставил закон существования критических температурных точек полиморфно превращающегося железа воочию пред всем человечеством.

... Творяй ангелы своя духи и слуги своя пламень огненный...

Приливы и отливы добра и зла, битвы Ормузда и Аримана... Жизнь для всех, на пользу всего человечества и жизнь только для себя, для тесного круга родных и соплеменников, вот волны на потоке жизни человечества, вот подъемы и падения...

Вот мир, разливающий свои благодеяния далеко, не считаясь с условными границами царств и народов, вот война, свирепо ополчающая один народ на другой. Возобладал Ариман, и потоки крови и огня мучают восставших друг на друга врагов. За опустошениями, за отказом от мирной работы идут голод, холод и болезни. И кажется, чем скорее будет решен ставший кровавым спор, чем сильнее будешь вооружен для борьбы, тем скорее навяжешь врагу свою волю, тем скорее сломишь его гордыню, его натиск, запугаешь, отни-

мешь от него желанье противиться тебе, тем лучше, тем скорей придет снова мир, кажущийся столь желанным среди страданий и лишений военной страды, среди холода, мрака и ужаса на полях битв, среди стона и проклятий искалеченных жертв войны, призывающих избавительницу—смерть.

Среди людей, посвятивших себя ужасному ремеслу войны, есть особый род воинов, посягнувших присвоить себе аттрибуты божества. Они, посылая смерть своим врагам, делают своими посланцами, ангелами смерти—снаряды, движимые силою пламенных духов, пороховых газов. Это наследники метателей греческого огня на концах стрел, это—обладатели удлинившейся до гигантских размеров ступы монаха Бертольда Шварца, метнувшей, если верить легенде, свой пест, неосторожно ударивший по смеси черного угля, дьявольски воняющей при горении серы и невинной, дающей плодородие почвам селитры.

... Творяй ангелы своя духи и слуги своя пламень огненный...

Одиннадцать месяцев люди войны боролись из-за земляных укреплений раззоренного, разрушенного артиллерийским огнем Севастополя.

Одиннадцать месяцев гремели громы орудий и клубился, к небесам подымаясь, пороховой дым, и лилась кровь на холмах окружающих город, на горах Инкермана, в долине реченки Альмы, на полях Балаклавы...

Отбив небольшой кусок территории Российской Империи, враги остановились. Пришел желанный мир с новым царем, с новыми вспыхнувшими по всей Руси надеждами.

Позор поражения заставил увидеть застой военного дела, скудость вооружения, превосходство нарезного оружия над гладкоствольным, железного парового флота над парусным, деревянным и много другого. Настал мир, и снова надо, зная людей, готовиться к новой войне, надо стараться догнать Европу, надо учиться у нее... Так было и так должно было еще несколько раз повториться в нашей истории. И вот посылают русских моряков и артиллеристов заграницу в Англию учиться, как строить железный флот, как и чем его вооружать.

После-севастопольский перелом в общественной жизни России раскрепостил не только крестьянство, но и промышленную предприимчивость. Стали возникать близ Петербурга заводы, стремясь учесть выгоду водной доставки топлива и машин из Англии и предоставляя старому горному гнезду Уралу присылать железо в виде чугуна по Каме, Волге и Мариинской системе туда, где снова, как в Петровские времена, пришлось заняться постройкой и вооружением балтийского флота, теперь уже железного взамен деревянного, затопленного при входе на севастопольский рейд.

Морской агент в Англии капитан А. А. Колокольцов, высокообразованный моряк-артиллерист, личный друг императора Александра II, рапортовал о введении нового металла—стали—для пушек взамен бронзы — сплава меди, олова и свинца, классического, освященного вековым употреблением пушечного металла. Капиталисты и предприниматели объединялись в компании. Так Путилов, Кудрявцев и приехавший с Урала Пав. Матв. Обухов, горный инженер, обладатель нового патента, устроили три завода, до сих пор существующие в Петербурге — Обуховский, Путиловский и Невский, иногда называемый Семянниковским.

Стальное дело вблизи Петербурга основалось и начало переживать свои детские болезни. К этому времени Д. К. Чернов, родившийся в 1839 г., уже прошел курс средней и высшей школы. Последней для него был С.-Петербургский практический Технологический Институт, курс которого он кончил с отличием. Он был оставлен для приготовления к профессорскому званию и начал в нем преподавать математику с 1859 года. Для усовершенствования в избранном для специализации предмете Чернов стал слушать лекции математики в СПБ. университете. В это время математика в СПБ. университете и вообще в петербургских высших школах переживала своего рода расцвет. Достаточно назвать имена Остроградского, Буняковского, Чебышева, давших впоследствии целую плеяду учеников. Очень может быть, принимая во внимание любовь и одаренность Чернова к математике, что он разделил бы с Коркиным, Бобылевым и другими наследие этих славных математиков и оставил бы свой яркий след в истории кафедр математики. Однако, вероятно, никто из профессоров Технологического Института, глядя на высокую, угловатую фигуру молодого инженера со скуластым лицом, игравшим здоровым румянцем молодости, не представлял и не мог себе представить, что всемирная слава осенит своим лавровым венцом этого юношу совсем не за труды в области математики.

Судьба любит иногда устраивать такие неожиданности и маскарады, то собираясь облечь мундиром немецкого солдата богатырское тело будущего русского академика, соперника Лавуазье по научным открытиям (Михаил Ломоносов), то скрывая под мундиром и орденами ректора и попечителя Казанского Университета — величайшего революционера, правда в области математики (Лобачевский), то удаляя из Петербурга в Симферополь на скромную роль захолустного учителя будущее светило и вечную гордость русской химии (Дм. Менделеев).

Кроме воинов — артиллеристов есть еще один род людей, деятельность которых сводится к покорению людской воле огня и газов. Это — металлурги. Зажигая огни своих домен, ввергая

в жерла этих двигающих огнем чудовищ железную руду, известь и горючее (уголь древесный или каменно-угольный кокс), они восстанавливают скрытый в землистой руде металл из его окислов, отрывая силой раскаленных углеродистых газов химически связанный с металлом кислород, заставляя его соединяться с веществом угля, и выпускают из низов доменных печей огненно-жидкий чугун — раствор угля в расплавленном железе. Но не ковок этот богатый углеродом и кремнием железный металл. Можно лить из него различные нужные людям вещи, но и раскаленный он не меняет, подобно чистому железу, своей формы под ударами молота. Ему надо претерпеть еще новую пытку огнем в пудлинговых печах или в тиглях, на поду мартеновской печи или в грушевидных гигантских ретортах Бессемера, а ныне и в электроплавильных печах, чтобы отдать поглощенный в домне избыток углерода и кремния и, сохранив в себе немногое из этих необходимых примесей и приобретя некоторые новые, стать тем, что называют сталью. Ее можно и лить в формы, как чугун, и ковать.

В начале 60-х годов еще не было ни мартеновских, ни бессемеровских реторт, ни электроплавильных печей. Вся лучшая сталь для ответственных вещей, вроде пушек и снарядов, варилась в тиглях старым, веками испробованным способом. Тигли, сравнительно с древними, несколько выросли в размере, в состав их стенок вместе с веками употреблявшейся огнеупорной глиной вошел еще графит. И весь прогресс в области тигельной плавки сводился к искусству одновременно заставить поспеть сразу большое число тиглей, да к изменению шихты, т.-е., той смеси веществ, которые кладут для переплава в тигли, — вместе с чугуном, пудлинговой сталью и железной рудой. Вот таким-то новым секретом шихты для тигельной плавки обладал, получив на него патент, горный инженер П. М. Обухов, вводивший, на удивление современных металлургов, в состав своей шихты белый мышьяк. Теперь мышьяк, вошедший в состав железного металла, считают вредною, портящей его свойства примесью в стали. Дурен-ли, хорош-ли был рецепт Обухова, на новом заводе на берегу Невы в шести примерно верстах от заставы, уральские рабочие из Златоуста под руководством Обухова начали отливать сталь для пушек. Сталь Обухова была хороша по составу, и ковали ее выписанные из Англии мастера. И печи, и молота, и прочие машины, включительно до громадной разрывной, пробной машины Киркальди, все было привезено из Англии или сделано по английским образцам. А дело все не ладилось.

Обладатель патента П. М. Обухов при артиллерийских пробах на полигоне в присутствии императора Александра II, изъявлял готовность сесть на пушку во время пробы, чего, улыбаясь на

шутку, император ему не позволил. Обухов был уверен в качестве своего металла, да и, действительно, иные пушки превосходно выдерживали чрезвычайно большое число выстрелов, но все чаще и чаще еще при жизни П. Н. Обухова начали случаться разрывы орудий, обнаруживавшие у обуховских стальных пушек при отличном химическом составе плохие механические качества. Куски разорвавшегося металла очень часто имели крупную сыпь на изломе, крупно-кристаллический излом, вместо желаемой однообразной и мелкой.

Если металл по составу хорош, значит литейщик в браке не виноват, надо искать причину брака в других мастерских. А следующей мастерской была молотовая или, проще, кузница, где болванки, т.-е. слитки металла без обрубленной верхней пузыристой части, идут в печи на нагрев для доведения их до красно-и желто-калильного жара, когда их можно вытаскивать из печей и бить молотами, чтобы придать им ту или другую нужную форму, заготовку для будущего изделия. Раз нужная форма металлу придана, то казалось, именно, повторяю казалось, дело металлургов кончалось и оставалось охладить заготовку и передать в руки механиков, чтобы те резали, строгали, точили и сверлили, словом делали свое дело. Да... так казалось. Но всетаки, если дело не идет на лад, то, может-быть, не дурно проследить за ковкой, за нагревами, правильно ли все это производят выписанные на Обуховский завод английские мастера? Если же ничего не придумать, то шабаш заводу, конец стальным пушкам. Пусть они бывают хороши иногда, но надо, чтобы они выходили всегда, без промаху, хороши. И вот, новый начальник взятого за долги в казну завода, в веденье морского министерства, А. А. Колокольцов начинает искать русских молодых инженеров и приглашает Д. К. Чернова. Я не знаю всех обстоятельств, оторвавших молодого математика от его alma mater, но 1863 год застает его в молотовой мастерской наблюдающим днями и ночами при помощи старых, опытных, набивших глаз рабочих (это собственное признание Д. К) оттенки цвета нагреваемых в печи болванок. Именно оттенки, ибо долгое время шкала металлургических нагревов характеризовалась не числом градусов, а цветами каления; темно-красным, вишневым, ярко-красным, оранжевым, желтым до белого калильного жара. Так, не имея в начале своей заводской карьеры точных инструментов (они еще не были даны наукой, ни одного удобного инструмента для измерения высоких температур не было сконструировано ни в Париже, ни в Лондоне), Чернов определял температуры нагревов глазом, представляющим довольно чувствительный оптический пирометр, но дающий все-таки субъективные показания. Но наблюдательность, систематическое изучение свойств металла, прокованного при более или менее высоких температурах,

определение этих свойств пробами на разрыв, изучение влияния температуры закалки, отпуска и отжига на степень твердости, хрупкости и вязкости или мягкости металла, одним словом, научное исследование условий, проведение важнейших металлургических операций дали скоро Чернову возможность поставить хиревшее, неладившееся дело производства стальных артиллерийских орудий на ноги. Пушки стали выходить всегда хорошими. Детские болезни обуховской стали, нового артиллерийского металла, были излечены молодым врачем, инженером-технологом, недавно покинувшим аудитории своего института. Он применил тот рецепт Бэкона, о котором я говорил раньше. Он явился наследником знаменитого Реомюра, открывшего в XVIII столетии эру научной металлургии железа.

Невидимое людям, подобно духам писания, вещество газов, поступая в нагревательные печи из генераторов, где нарождаются из каменного угля эти покорные металлургам „духи“ — газы, должно было, соединяясь с кислородом воздуха, давать огненное пламя такой силы и столько времени действовать на нагреваемый металл, чтобы он нагревался до такой, именно, температуры, до того предела, какой укажет ему открывший тайну природы Чернов, строго определивший пределы температур, до которых нельзя давать остывать металлу во время ковки или перед его закалкой, или выше которых не надо нагревать металл перед ковкой.

...Творяй ангелы своя духи и слуги своя пламень огненный...

Затем пришел черед применить установленные критические точки *a* и *b* к нагревам и охлаждениям быстрым и медленным, составить теорию закалки отпуска и отжига стали.

И вот в результате трудов Чернова между кузнецами и механиками-токарями на металлургических сталелитейных и машиностроительных заводах вклинилась новая рать, новый цех рабочих, выросли мастерские тепловой обработки серого железного металла — стали, с громадными печами-колодцами, с громадными чанами и бассейнами, наполненными закаливающими жидкостями — растительными или минеральными маслами или водой.

Ковали, калили, отпускали и отжигали сталь тысячи тысяч людей в течение веков до Чернова, но он первый дал закон, закон науки, закон непреложный. И прав он был, говоря в 1868 году во время своего доклада об этих своих открытиях Русскому Техническому Обществу, что с этого указанного им, Черновым, пути металлургия впредь не свернет.

Прошло еще 12 лет со времени знаменитого доклада о критических точках стали. За это время он заинтересовался и самым процессом литья металла, а не только его деформацией или тепловой обработкой. Д. К. стал вести плавки в мастерской бессемерования,

где сквозь расплавленный чугун в громадных ретортах, выстланных огнеупорным кирпичем, продувают воздух, заставляя выгорать избыток углерода и превращая таким образом чугун в сталь. Обстановка ведения этого процесса, идущего быстро и бурно, была чисто научной. На возвышении в мастерской, на котором помещается инженер, следящий за процессом, кроме рукояток от воздуходувной машины и манометров, имелся и такой чисто кабинетный, но ставший в заводской практике необходимым прибор, как спектрометр. В него наблюдали появление линий железа в спектре пламени, вырывающегося с ревом из жерла бессемеровских реторт. Это обозначало конец выжигания углерода. Здесь и острый глаз Чернова оказывался бессильным, но он уже был вооружен высшим чувствительным прибором, новым глазом человечества, видящим на почти неизмеримо большом расстоянии то, что творится на солнце и на отдаленнейших звездах.

Кто льет сталь в изложницы, где она затвердевает, тот принужден задумываться над этим процессом затвердевания, ибо в этот именно момент нарождающийся в твердом (а не жидком) виде столь нужный людям металл получает часть основных черт своего характера, своих свойств. Полученная здесь наследственность сопровождает дальше его в его последующих превращениях. Плохо, порочно застывший металл иногда бывает неисправим никакой дальнейшей обработкой. Так пришлось Чернову думать о застывающей стали, и он увидел мысленным взором, как растут, начинаясь от стенки изложницы, кристаллы в застывающей стали, как переплетаются их оси и становятся похожими на сцепившиеся елочные ветви. К явлениям, связанным с застыванием стали, Чернов подошел с той же наблюдательностью физика, с той же логикой математика, которую он проявил при исследовании вопросов о ковке и закалке стали.

И до Чернова были люди, интересовавшиеся неоднородностью индийских и арабских булатов. Так, русский инж. Аносов, ранее Сорби, применил микроскоп к разглядыванию рисунков травления на булатной восточной стали и подражавшей этим восточным образцам златоустовской стали. Но лишь в свете мыслей и представлений Д. К. Чернова о природе стали и о росте ее кристаллов при затвердевании ее можно окончательно понять и крепость (твердость), и гибкость (упругость) дивных дамасских клинков с их чудными переплетенными узорами травления.

Чернов мечтал найти способ получения стали прямо из руд, т.-е. решал задачу, которая только теперь более или менее удачно разрешается электродомнами при помощи дешевой энергии падающей воды.

В 1880 году произошел перелом в жизни Д. К. Чернова: он ушел с Обуховского завода и ушел, судя по известной горечи, с которой он говорил об этом обстоятельстве даже спустя много

лет, не вполне согласно со своим желанием. Здесь не место разбирать полностью этот давний спор, но я попытаюсь дать намек на объяснение его в двух словах. Чернов был помощником начальника Обуховского завода при начальнике, адмирале А. А. Колокольцове, человеке властном и обладавшем такою же сильною волей, как и Д. К. Чернов. Эти два стальных характера не могли, как это нередко бывает, до конца приладиться друг-к-другу, как говорится, ужиться в одной берлоге.

Чернову, как мне передавали старожилы завода, предлагали остаться в качестве консультанта на выгодных материальных условиях, но лишали известной власти, права вмешательства в административные дела, а он на это не согласился. „Я еще не старик, чтобы поступать на пенсию", сказал он и подал в отставку. Действительно, тогда ему было всего 41 год от роду.

Необходимость зарабатывать средства и кипучий, деятельный темперамент увлекли Чернова в другую область, нежели металлургия.

Деятельность металлурга тесно соприкасается с деятельностью людей, эксплоатирующих земные недра. Оттуда являются руды, оттуда и уголь каменный, и нефть. Не всегда на земной поверхности лежат и необходимые для металлурга огнеупорные материалы, вроде глин, магнезита или графита. И вот естественно мысль об эксплоатации земных недр могла придти в голову знатока металлургии, готовившегося когда-то стать математиком. Около этого времени, восьмидесятых годов, мысли людей, задумывавшихся над техническим будущим России, обратились на юг. Например, Д. И. Менделеев указывал русскому обществу на „будущую силу, покоящуюся на берегах Донца", в виде каменного угля и руд. Так, в 80-ых годах начался процесс технического пробуждения юга России.

Какой же минерал, извлекаемый из недр, способен прямо, почти без переработки, быть направлен в потребление? Какой минерал потребляется всеми нами ежедневно, и, следовательно, запасы которого не должны истощаться на рынке? О, теперь на этот вопрос ответят не одни химики или техники! Благодаря выучке, полученной в наше голодное время, мы все узнали цену хлористого натрия или, по просту, поваренной соли. Но еще и до сих пор, может быть, не все знают, в какой степени этот же минерал — каменная соль — необходим для основной химической промышленности. Не приготовив главных и, что важнее всего, дешевых кислот, вроде соляной (хлористо-водородной), или щелочей, вроде едкого натра и близкой к нему соды, т.-е. углекислого натрия, или не добыв галоида, хлора, заключающегося в каменной соли, не разовьешь и более тонкой химической промышленности, не получишь ни мыла, ни красок, ни лекарств.

Стало быть, сбыт хлористого натрия всегда обеспечен, он должен расти параллельно росту культуры в стране. Поэтому Д. К. Чернов, стремясь обеспечить себе и своей семье верные средства, если не богатство, совершенно основательно для помещения в дело своих сбережений выбрал дело извлечения каменной соли из недр земли. А залежи ее обозначались, но не были еще проверены ее запасы разведкой, что, очевидно, необходимо для обеспечения привлекаемых к делу капиталов. Тяжесть этой первой разведочной работы, необходимой для убеждения капиталистов в том, что запасы соли в Бахмутском уезде Екатеринославской губ. близ ст. Ступки действительно надежны и значительны, легла на Д. К. Чернова, вычерпывая, в ожидании будущих дивидендов, его денежные ресурсы. Дело с образованием акционерного общества затянулось, приходилось обрашаться на международный финансовый рынок, где в конце концов, к концу трехлетних разведок нашлись голландские капиталисты, поверившие в солидность и выгодность предприятия. Пока же, в ожидании будущего успеха, упрямому солеискателю пришлось обратиться к эксплоатации залежей собственных познаний и богатств, собранных и вынесенных в собственной голове из деятельности на Обуховском заводе.

Весьма удачно было решение конференции Михайловской Артиллерийской Академии о приглашении на кафедру металлургии Д. К. Чернова.

С этих пор наступила еще новая плодотворная полоса в деятельности Д. К. — это, не прерывавшаяся более 30 лет, почти до самой смерти, педагогическая профессорская деятельность. Сообщая свои многоценные познания и теории, выведенные из металлургической заводской практики, целому ряду поколений русских артиллеристов-академистов, Чернов способствовал успехам русской металлургии, в особенности той ее части, которая обслуживала нужды сухопутной и морской артиллерии. Ученый профессор силами науки служил военной защите своей родины. Длившийся сорок слишком лет со времени Севастопольского поражения процесс развития стальной, а не бронзовой артиллерии, нашел своего выразителя и руководителя в том, что касается чисто металлургической стороны дела, в лице Д. К. Чернова.

Авторитет его был признан не только на родине, но и в иных государствах. В одном из писем, написанных им в предпоследний год его жизни, за несколько месяцев до смерти, Чернов, стараясь улучшить свое материальное положение, добиваясь работы в новых русских условиях, перечисляет свои ученые титулы: заслуженный профессор Михайловской Артиллерийской Академии, инженер технолог, почетный член Мих. Арт. Академии, почетный член и лауреат Русск. Технического Общества, почетный председатель Русского Металлургического

Общества, почетный сотрудник Главного Управления кораблестроения Морск. Министерства, почетный член Петроградского Технологического Института, почетный член Петроградского Политехнического Института, почетный член Петроградского Общества Технологов, почетный вице-председатель Английского Института стали и железа в Лондоне, почетный член-корреспондент Королевского Института в Лондоне, почетный член Американского Института горных инженеров, почетный член Совета Института Интернациональных Экспертов.

Начиная с первых годов XX века, мне пришлось войти в общение с металлургическим миром России, и это общение длилось около восемнадцати лет. И вот, где бы ни собрались металлурги, будь то заседание Металлографической Комиссии Русского Технич. Общества, будь то собрание основанного в 1910 году Русского Металлургического Общества, будь то съезд Машиностроителей и Металлургов или просто заводское торжество по случаю введения какого-нибудь нового металлургического процесса, вроде, напр., первой плавки электрической печи на Обуховском заводе, или доклад моего исследования явления разгара канала орудий в Артиллерийском Техническом Комитете, везде я видел эту импозантную фигуру высокого старц с энергичным лицом, с красиво-убеленной сединами головой. Здесь он показывал гигантские стальные кристаллы, вывезенные для него из Англии случайно их нашедшим в раковине стальной болванки слушателем его в Михайловской Академии. Там он исправлял кажущиеся уклонения в истолковании его критических точек, или излагал в ряде бесед свои основные взгляды на металлургические вопросы, или с юношеским пылом и жаром развивал свою теорию разгара каналов артиллерийских орудий. На съездах председательствовал на торжественных общих собраниях в парадных актовых залах родных ему заведений — Технологическом Институте и Михайловской Артилл. Академии или в новом рассаднике металлургических знаний — в Петроградском Политехническом Институте.

Ему уже шел восьмой десяток, но бодрое, живое слово, ясная мысль все еще были характерны для этого титана науки и техники.

А какой любовью и популярностью пользовался он среди своих учеников: и понятно, ведь связь между ними редко прерывалась, и куда-бы ни услала судьба окончившего курс Мих. Арт. Акад., раз ему нужен был металлургический совет, он мог быть уверен, что и разъяснение, и справку, и советы он получит, если обратится к своему старому профессору Д. К. Чернову.

Не надо, однако, думать, что металлургия одна захватила мысли Чернова. Он был чрезвычайно разнообразен в своих технических темах. Эта многосторонность роднила его с учеными и художниками эпохи возрождения. Напр., с Леонардо да-Винчи его сбли-

жает мечта полететь, мечта дать крылья человечеству. Он посвятил этой теме два доклада VII отделу Русского Технич. Общества 17 и 23 декабря 1893 года, в которых говорил о наступлении возможности механического воздухоплавания без помощи баллона. В этих работах он разбирает полет птиц, устройство их крыльев и кривые поверхности, ограничивающие крыло в момент парения. Он трактует воздух, как среду с достаточным сопротивлением, чтобы можно было надеяться использовать его для полета механизмов, не прибегая к помощи газов, более легких, чем воздух. Он сообщает опыты с кажущимся облегчением веса особого прибора, который несет на вертикальной оси своеобразный винт, как мы называем нынче пропеллер; этот винт при вращении, ввинчиваясь в воздух, приподнимает аппарат, облегчая давление его веса на чашку весов, куда этот аппарат поставлен. Чернов здесь опять является, как и в работах критическими точками, предсказателем будущего, человеком, нащупывающим еще в относительной темноте, среди споров о направлении развития тех или иных технических вопросов или изобретений, верный путь.

Мы-то уже привыкли к аппаратам тяжелее воздуха, к своим воздушным птицам и кораблям, к их vol plané, к их птичьим скольжениям и парению, к их мертвым петлям, но не забудем, что между нынешним торжеством человека над воздушной средой и докладом-мечтой Чернова по поводу аппаратов без баллона легла почти целая треть века. И, все-таки, и здесь счастливому человеку гения и труда, Д. К. Чернову, удалось быть свидетелем торжества идей, защитником которых он был в такой степени, что звал на складчину для производства нужных опытов для пробы пропеллеров и вообще подготовки аппаратов для летания более тяжелых, чем воздух, обещая свою долю участия, кроме знаний и указаний, в виде пожертвования на это дело 5000 рублей. Он верил твердо в правильность своих выводов, и последующая история воздухоплавания — авиации доказала, что он был прав.

Для физика и математика, сидевших внутри этого общепризнанного авторитета по металлургии, казалось, не было трудных, невозможных задач.

Характерно, что, по словам его почтенной супруги Александры Николаевны, его предсмертный бред относился к квадратуре круга.

Иные задачи он решал и сам, личным трудом, когда состояние технических средств не клало между найденным теоретическим решением вопроса и выполнением непреодолимых преград.

Так было с розысканием секрета изготовления хорошо звучащих итальянских скрипок.

Раз заинтересовавшись этой задачей, Чернов углубился в изучение вида поверхностей изгиба скрипичных дек, в способы су

и склейки дерева в виде тонких слоев, в изучение способов изгиба, составов всевозможных лаков и решил таки эту задачу так хорошо, что при произведенных пробах знатоки музыканты не могли отличить, на какой скрипке играет скрипач—на заведомо сделанной старинным итальянским мастером в Кремоне или на скрипке, сделанной профессором металлургии Д. К. Черновым в XIX столетии в С.-Петербурге.

Среди этой кипучей и разносторонней работы, среди этих почти не прекращающихся триумфов и успехов (и богатство, наконец, пришло, его принесла бахмутская соль), среди общего преклонения и почета, кто бы мог предсказать, что этот признанный человечеством гениальный человек умрет, подавленный нищетой и почти голодом, что этот всемирно известный человек будет писать письма, в которых перечисляет свои заслуги и то, что он умеет делать, извиняясь в то же время, что больше не способен к физическому труду. Кто бы поверил, что знаменитый металлург, ища поддержки, будет выставлять свои познания в виноградарстве и садоводстве и ссылаться на уменье делать почти кремонские скрипки.

Благодатный Крым должен был в 1918 г. поддержать пошатнувшиеся силы перенесшего воспаление в легких 80-летнего слишком старца.

Буря революции грозными валами прокатилась по лону нашего отечества с юга на север, с запада на восток.

Многое рухнуло под натиском этой бури. Много судеб изменилось в этой высшей из возможных превратностей жизни.

Застигнутый в Ялте военной грозой междуусобной войны, подавленный болезнью и наступившей вследствие отсутствия сообщений с Петроградом бедностью, проевший с частью своего семейства, бывшей с ним в Крыму, свои вещи, получивший слишком поздно международную денежную помощь. Д. К. Чернов умер в январе 1921 года.

Вот жизнь героя! Вот жизнь титана, вот счастливая жизнь одного из современных потомков Прометея, похитивших у природы ее тайны и научивших им все человечество!

Счастливая? а как же быть с последней главой этой жизни?— болезнь, нищета, смерть?

Да, счастливая! Такая трудовая, в течение семидесяти лет, считая с возраста средней школы, жизнь сама несет с собой зачатки болезней, как бы ни был могуч в начале жизни организм.

Лишение и страдание? Быть может, это поздно спустившийся с Олимпа орел, клевавший когда-то дерзновенного Прометея. Или, если вы хотите христианского объяснения, я отошлю вас к домыслам другого русского национального гения, Достоевского: необходимо избранной душе испить чашу страданья, чтобы смирить земную

гордыню. А счастливому в своих начинаниях и достижениях Чернову, может быть, было много искушений, именно, с этой стороны, со стороны гордости.

Смерть? что же, она—неизбежна и при том здесь она сопровождается тем, что мы называем человеческим бессмертием — благодарной памятью в веках, посмертной славой среди многих, грядущих поколений.

ТРУДЫ Д. К. ЧЕРНОВА В ОБЛАСТИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ЖЕЛЕЗА И СТАЛИ.

Г. З. НЕССЕЛЬШТРАУС.

Лекция, прочитанная в Доме Ученых и в Горном Институте в 1922 г.).

Переход литого железа и стали в изложнице из расплавленного капельно-жидкого состояния в твердое представляет собою чрезвычайно опасный для металла кризис, когда последний может получить пороки, непоправимые более в твердом состоянии. Как известно, сталь лучших качеств в жидком состоянии,—на поду печи Сименс-Мартена, в реторте Бессемера или в современной электрической печи усовершенствованного типа, безразлично,—может быть совершенно испорчена в изложнице, если условия и обстоятельства, сопровождающие затвердевание слитка, не будут направлены таким образом, чтобы бороться с недостатками, которые при этом неизбежно возникают. В самом деле, при понижении температуры перегретой в печи стали до точки ее плавления и вызываемом вследствие этого явлении затвердевания в массе застывающей стали имеют место три большой важности процесса—усадка, кристаллизация и сегрегация, свободное развитие которых в значительной мере понижает качества, требуемые от металла промышленностью. Вполне понятно поэтому стремление многих лучших металлургов дать упомянутым процессам такое направление, чтобы в результате затвердевания получился здоровый, вполне доброкачественный слиток, могущий служить исходным материалом для последующей заводской обработки при изготовлении тех или иных изделий. Изучение условий получения здоровых, плотных, однородных по составу и строению стальных слитков и сейчас еще принадлежит к числу вопросов, наиболее животрепещущих; проблема эта в окончательном виде еще не может считаться решенной, несмотря на всемерно увеличивающийся с каждым годом всеобщий интерес к ней, вызывающий появление все новых и новых экспериментально-научных исследований.

Обращаясь к истории затронутого вопроса, нельзя не подчеркнуть с особенным удовлетворением, что почин в деле изучения и научного исследования процесса разливки и затвердевания расплавленной литой стали и явлений, его сопровождающих, был сделан,

главным образом, в России, в тридцатых годах прошлого века известным нашим металлургом Аносовым и, несколькими десятилетиями позднее, в гораздо более широком масштабе—Дмитрием Константиновичем Черновым, который первый произвел ряд поистине классических систематических исследований и создал стройную, вполне законченную теорию, предуказавшую совершенно новые пути и возможности. Следует отметить, что Дм. Конст. Чернов вступил на металлургическое поприще во второй половине шестидесятых годов XIX века, в период особенного увлечения идеями Bessemer'a, впервые осуществившего способ производства литого железа и стали в относительно крупных количествах по сравнению с тем, которое получается при более старом процессе тигельной плавки. Предложенный же около этого времени братьями Martin новый способ выплавки железа и стали на поду отражательной печи еще более содействовал скорейшему развитию массового производства литой стали. Но на ряду с этим самый процесс разливки и свойства получавшегося металла в слитках еще представляли совершенную загадку для металлургов. Д. К. Чернов, которому на первых же шагах своей практической заводской деятельности на Обуховском заводе пришлось иметь дело с выплавкою и обработкою металла для особенно ответственных изделий, как артиллерийские снаряды и орудия, был одним из пионеров не только у нас в России, но и во всем мире, новой отрасли знания — учения о свойствах литого металла и его обработке. Подвергнув опытному изучению в обстановке заводского производства явления, сопровождающие разливку расплавленного металла в изложницы и дальнейший переход последнего в твердое состояние, Д. К. Чернов своими замечательными трудами в этом направлении значительно расширил круг вопросов, составляющих область металлургии железа, и проложил путь к созданию новой дисциплины—металлографии, значение которой для техники и науки все время непрерывно возрастает.

Уже в 1868 году, в знаменитом своем докладе Русскому Техническому Обществу, опубликованном под поразительно скромным названием,[1]) Д. К. Чернов в общих чертах высказывает свой взгляд на процесс перехода стали из жидкого состояния в твердое. Не распространяясь нисколько о ходе предпринятых им в данном направлении исследований, Д. К. Чернов сообщает лишь свои конечные выводы, излагаемые им при этом в крайне лаконичной форме: „Если расплавленную в тигле сталь при охлаждении приводить постоянно в сильное сотрясение, достаточное для того, чтобы все частицы ее приходили в движение, тогда охлажденный слиток

[1]) „Критический обзор статей гг. Лаврова и Калакуцкого о стали и стальных орудиях и собственные Д. К. Чернова исследования по этому же предмету". Зап. И. Р. Т. О., 1868 г., стр. 399—440.

будет иметь чрезвычайно мелкие кристаллы; если же эту сталь оставить без всякого сотрясения и дать массе спокойно и медленно охлаждаться, тогда эта же самая сталь получится в крупных, хорошо развитых кристаллах. Вид этих кристаллов и способность вообще кристаллизоваться при этих условиях зависят от чистоты стали. Крайняя чистота стали — это есть чистые две составные части ее: железо и углерод; самая лучшая сталь состоит из соединения только этих двух элементов“. Здесь в немногих словах, в почти фрагментарной форме высказан совершенно новый и чрезвычайно смелый для того времени взгляд на кристаллическое сложение и особые качества стали в слитках, более подробное и всестороннее развитие и обоснование которого мы встречаем в позднейших произведениях Д. К. Чернова.

Только что приведенные положения Д. К. Чернова известный историк металлургии железа, д-р Ludwig Beck, в своем обширном труде по истории железа, рассматривает, как чрезвычайно крупное событие в истории сталелитейного дела, имевшее последствием значительное улучшение качеств литого металла, и сопоставляет их со взглядама Stubbs'a и позднейшими данными Snelus'a.

Десять лет спустя, в 1878 году, Д. К. Чернов опубликовал свои исследования над структурою стальных литых болванок [1]), где он, опять-таки основываясь на наблюдениях и опытах, произведенных им в крупном заводском масштабе, дал в стройном законченном виде наглядное изображение механизма затвердевания железо-углеродистых сплавов. При этом он не только указал на свойственные обычно заводским слиткам недостатки, не только первый дал означенным недостаткам теоретическое, вполне научное объяснение, но, вместе с тем, тогда же установил и меры борьбы с этими недостатками, не утратившие своего значения до настоящего времени. Произведя наблюдения над затвердеванием расплавленной стали в слитках, Д. К. Чернов установил полную аналогию этого процесса с процессом кристаллизации квасцов или других солей при замерзании растворов последних. Со свойственной ему поразительной дальновидностью он сразу же ставит вопрос чрезвычайно широко и строение литых болванок рассматривает, как результат трех одновременно совершающихся явлений: кристаллизации стали, выделения растворенных в металле газов и изменения объема при переходе из жидкого состояния в твердое.

Главное положение Д. К. Чернова, неоднократно им высказанное, что сталь застывает не воскообразно, а кристаллами, образуя сложный конгломерат кристаллических аггрегатов, становится с тех

---

[1]) „Исследования, относящиеся до структуры литых стальных болванок“. Сообщ. в Русск. Техн. О-ве 2-го декабря 1878 г.

пор основою современного представления о кристаллическом строении стали и металлических сплавов вообще. При этом Д. К. Чернов вопрос о кристаллическом строении массы или всего тела стальной болванки рассматривает в связи с вопросом о кристаллах стали, обнаруживаемых нередко в большом числе в полостях усадочных пустот. Как известно, усадочные пустоты, или раковины, в заводских слитках стали обязаны своим происхождением сокращению объема внутренней массы слитка при ее затвердевании в замкнутой оболочке, образуемой первоначально застывающей поверхностной коркою отлитой болванки. Д. К. Чернов первый высказывает здесь мысль об идентичности отдельных кристаллов усадочных раковин и кристаллических конгломератов, составляющих тело самого слитка. Масса литой стали является, по его наблюдениям, ничем иным, как совокупностью прерывчатых кристаллических скелетов древовидной формы или, т.-наз., дендритов, соприкасающихся и переплетающихся своими боковыми отростками, распространяющимися во все стороны на подобие ветвей. С другой стороны, условием образования вполне развитых обособленных кристаллов усадочных раковин является полная свобода в расположении вещества при затвердевании, отсутствующая, конечно, у частиц, находящихся в сплошной толще слитка. Чем больше масса слитка, и чем медленнее, следовательно, происходит его застывание, тем благоприятнее условия для образования крупных кристаллов стали в усадочной пустоте. Всеобщей известностью пользуется всесторонне исследованный сначала Д. К. Черновым, а затем и другими исследователями, знаменитый кристалл Чернова, найденный в усадочной пустоте 100-тонного слитка; изображение этого кристалла-unicum воспроизведено на страницах большинства учебных руководств по металлографии железа и стали. Вес означенного кристалла равен 3,45 кгр.; длина его составляет 39 см. Химический состав стали: 0,78% C; 0,255% Si; 1,055% Mn; 97,863% Fe (см. фиг. IV).

Д. К. Чернов несомненно предвосхитил теорию проф. G. Tammann'а о, т.-наз., центрах кристаллизации, о зарождении кристаллических аггрегатов из особых ядер или центров, возникающих почти одновременно во многих точках застывающей массы слитка и распространяющихся затем в различных направлениях с определенною линейною скоростью. В крупных заводских слитках стали Д. К. Чернов различает несколько слоев или зон кристаллизации, соответственно последовательности отвердения различных частей слитка при его застывании. Налитая в металлическую изложницу, расплавленная и несколько перегретая сталь остывает и затвердевает сперва около стенок последней в виде коры, постепенно утолщающейся; если спустя некоторое время удалить, т.-е. вылить из незастывшего до конца слитка, его жидкое содержимое, что может быть достигнуто

опрокидыванием слитка, то по обнаженной внутренней поверхности коры легко видеть, каким путем совершается переход стали из жидкого состояния в твердое. Наблюдения показывают, что затвердевание начинается образованием игольчатых кристаллов, растущих от точек прикосновения жидкого металла к стенкам изложницы внутрь слитка в направлении, перпендикулярном к наружной его поверхности. Если разломать затвердевший слиток по плоскости, перпендикулярной к его вертикальной оси, то прилегающие к коре ближайшие наружные слои затвердевшего слитка имеют вид сжатых пучков лежачих призм неправильного сечения с несколько сглаженною поверхностью. Описанное явление Д. К. Чернов характеризует, как призматическую грануляцию. За столбчатым слоем игольчатых кристаллов следует более или менее развитая полиэдрическая грануляция, представляющая конгломерат многогранных зерен неправильной формы. Зерна эти имеют только некоторое подобие кристаллов, ибо допускают полнейшее разнообразие в углах и заметное искривление граней. Происхождение зоны полиэдрической грануляции Д. К. Чернов объясняет натяжениями в металле при остывании слитка в виду неравномерного стягивания наружных и внутренних частей последнего. Как известно, в начале застывания наружные слои слитка от соприкосновения с холодной изложницей охлаждаются скорее внутренних, но затем внутренние начинают охлаждаться быстрее, до окончательного выравнивания всей массы слитка с температурою окружающей среды.

Далее за слоем полиэдрической грануляции идет некоторая толща плотного металла с блестящим ровным изломом, и затем появляется центральная рыхлость, постепенно увеличивающаяся по мере приближения к оси слитка и его усадочной раковине. Рыхлость центральных частей болванки Д. К. Чернов определяет, как скопление более или менее развитых частных усадок, имеющих место благодаря замыканию переплетающимися ветвями дендритов объемов, заполненных жидким еще металлом. Кроме центральной рыхлости, Д. К. Чернов различает в стальных слитках особую пористость материала, как результат микроскопических усадочных пустот, рассеянных по всей толще слитка, но преимущественно также в центральной части последнего. Наконец, в числе существенных недостатков заводских слитков упоминаются им еще пузыри, расположенные по преимуществу в наружных слоях слитков мягких сортов стали и являющиеся результатом процесса выделения при затвердевании литого металла растворенных в нем газов, как-то водорода, окиси углерода, углекислого газа и азота. При ближайшем рассмотрении явления выделения газов из стали при ее затвердевании Д. К. Чернов нашел, что оно, в общем, подчиняется тем же законам, какие управляют выделением их из раствора и в других жидкостях, хотя бы в воде.

Если бы газы, заключенные в жидком металле, выделялись при температуре, значительно превышающей точку плавления, т.-е. когда сталь еще вполне жидка, и частицы ее обладают значительной подвижностью, то они все удалялись бы в атмосферу, всплывая кверху в виде пузырей или выходя непосредственно через свободную поверхность; тогда затвердевший стальной слиток не заключал бы пустот, кроме усадочных. Однако, в действительности наибольшая часть газов выделяется в момент, соседний периоду отвердевания стали, и даже, отчасти, в самый момент отвердевания, так что параллельно с образованием пузырей идет и наростание отвердевающих слоев от стенок изложницы, отчего слиток становится пузыристым, в особенности, в наружном его слое. Сотрясение и переливание жидкости вызывают усиленное выделение растворенных в ней газов; но, с другой стороны, при разливке стали в изложницы расплавленный металл, проходя через толщу атмосферного воздуха, не может не подвергнуться воздействию составных частей последнего. Таким образом газы, содержащиеся в литой стали, в момент ее затвердевания частью составляют результат не вполне законченных к моменту выпуска химических реакций, частью же поглощены из атмосферы как во время плавки, так и при разливке.

Большая заслуга Д. К. Чернова состоит в том, что он первый с достаточной убедительностью подчеркнул особенное влияние условий разливки стали на качества металла в слитках и в изделиях. Своими замечательными наблюдениями и опытами над кристаллизацией стали в заводских слитках Д. К. Чернов показал воочию, что разливка стали в изложницы представляет явление более сложное, нежели обыкновенную механическую операцию, завершающую плавку стали, что это, напротив, — весьма серьезный и ответственный металлургический процесс, который может и должен быть надлежаще направляем и регулируем металлургами. В настоящее время правильность такой точки зрения не подлежит, конечно, никакому сомнению. Достаточно указать, что известный современный английский металлург H. Brearley в 1916 году в прениях по своему докладу „О некоторых свойствах стальных слитков“ [1]) выразился следующим образом: „Разливка стали в изложницы представляет собою как бы бессемеровский процесс на изнанку и в миниатюре, с тою лишь разницей, что вместо пропускания струи воздуха через расплавленный металл здесь имеет место обратное пропускание струи жидкого металла через атмосферный воздух“.

В постановке вопроса о происхождении и влиянии сегрегации в стальных слитках Д. К. Чернову опять-таки принадлежит великая

---

[1]) Напечатано в „The Journ. of the Iron and Steel Institute“ за 1916 г., № 2.

честь быть провозвестником новых взглядов и идей. Опираясь на факты, установленные Лавровым и Калакуцким в их сделавшихся достоянием истории, благодаря упомянутому критическому разбору со стороны Д. К. Чернова, работах [1]), наш великий металлург создает теорию этого явления задолго до общеизвестного обстоятельного исследования, произведенного Snelus'ом. В явлении сегрегации, или избыточного скопления наиболее легкоплавких составных частей стали по вертикальной оси слитка и в соседстве с усадочной раковиною, Д. К. Чернов сразу же усмотрел аналогию с ликвацией металла в бронзовых отливках. Оценив всю важность открытия, сделанного Лавровым и Калакуцким, он пришел к замечательному для того времени выводу о непостоянстве состава жидкой стали, как раствора углерода в железе, во время процесса кристаллизации и тем положил начало современному представлению о переменном составе выделяющейся при этом твердой фазы; согласно его взгляду каждая частица жидкой стали в момент застывания расщепляется на две части: менее плавкую часть, которая действительно затвердевает при данной температуре, и более плавкую, которая остается незастывшей, присоединяясь к маточному раствору и обогащая последний как углеродом, так точно серою, фосфором и т. п. легкоплавкими примесями. В „Записках по стале-литейному делу" эта точка зрения Д. К. Чернова находит еще более яркое выражение в утверждении, что кристаллизация стали совершается таким образом, как будто „одно вещество, более мягкое, менее углеродистое, бросает оси, и другое, более углеродистое, оставаясь в то время еще жидким, тотчас же вслед затем облепляет ростки" [2]).

Не довольствуясь установлением причин, вызывающих физическую и химическую неоднородность литого металла в слитках, Дм. Конст. Чернов со свойственной ему настойчивостью и неутомимой энергией направил свои исследования в сторону выяснения конкретных способов к возможному улучшению качеств последнего при помощи специального теплового раффинирования с применением или без применения механической обработки давлением. Изучая всевозможные способы борьбы с перечисленными пороками стальных слитков, Д. К. Чернов проявил особенную осторожность и сдержанность по отношению к широко практикуемым в технике способам механического воздействия путем давления на нагретый металл — к каковым принадлежат ковка, прокатка и прессование, считая указанные средства не более, как паллиативом. По его мнению все дело заключается, преимущественно, в литейном искусстве, стоящем

---

[1]) Напечатано в „Артиллерийском Журнале" за 1866 и 1867 годы.

[2]) „Стале-литейное дело". Лекции, чит. в дополн.-курсе Михайл. Артил. Академии проф. Д. К. Черновым Литограф. изд., Пгр. 1906 г.

пока, к сожалению, не на достаточной высоте. Необходимо стремиться, скорее, к недопушению возникновения и развития пороков, а не к залечиванию последних после того, как они приняли грандиозный характер. В качестве средств, могущих привести к означенной цели, Д. К. Чернов выдвигает надлежащее раскисление металла перед разливкою, усовершенствование самого способа отливки, для чего рекомендует отливать металл во вращающуюся изложницу и, наконец,—создание благоприятных условий остывания слитков, в смысле надлежащей скорости охлаждения в течение периода кристаллизации.

„Молот и прокатный стан необходимы для получения изделий таких форм, при отливке которых нельзя принять всех мер, обусловливающих получение плотной отливки вполне определенных размеров и с гладкою поверхностью“—таковы заключительные слова мемуара Д. К. Чернова о структуре стальных болванок. В остальных же случаях улучшение структуры и физических качеств стали легче всего и лучше всего достигается при помощи тепловой обработки в соответствии с теорией особенных точек под названием „*a*“, „*b*“ и др., высказанной впервые и разработанной в общем виде Д. К. Черновым. С точки зрения этой теории механическая обработка стали при высокой температуре сводится к обработке ее лишь одною теплотою совместно с изменением формы и размеров обрабатываемых предметов.

Явившись пионером в вопросе кристаллизации стали и структуры литой болванки, Д. К. Чернов с очевидностью для всех доказал неосновательность мнения, что сталь, изготовленная с помощью процесса плавления, представляет собою по затвердевании вполне однородное тело; напротив того, каждый слиток состоит из отдельных слоев или наслоений металла, неодинакового по строению и составу, при чем лучшая по качеству часть отлитой болванки почти всегда представляется в виде полого цилиндра, остающегося после удаления наружного пузыристого слоя и рыхлой сердцевины. Равным образом Д. К. Чернову удалось обнаружить и убедить большинство металлургов в ошибочности взгляда на ковку или прокатку, как на средство к действительному улучшению качеств испорченного неудовлетворительною отливкою металла. Вместе с тем он впервые указал на то, что сама механическая обработка в нагретом состоянии может явиться причиною физической неоднородности металла, которая может быть уничтожена лишь последующим тепловым раффинированием или термическою обработкою стали. Д. К. Чернов первый обратил внимание на то, что при механической обработке стальных болванок в нагретом состоянии под молотом всегда имеют место обстоятельства, препятствующие достижению физической однородности металла во всех местах бол-

ОБРАБОТКА СТАЛИ и ТОЧКИ *(a)* и *(b)* ЧЕРНОВА.

А. Л. БАБОШИН.

(Лекция, прочитанная в Доме Ученых и в Горном Институте в 1922 г.).

Тема об обработке стали в ее современном развитии весьма обширна. Да и неудивительно. Достаточно вспомнить, что мы потребляем сталь и вообще металлы не в сыром, а в обработанном виде. Достаточно вспомнить, что получение (выплавка) металла составляет только половину дела металлурга, вторая, не менее важная, половина относится к его обработке.

В мою задачу не входит обсуждение этой темы во всей ее полноте. Я буду говорить об обработке стали постольку, поскольку она (обработка) связана с именем Д. К. Чернова. А связь эта — самая тесная, самая неразрывная. Сюда он вложил всю свою великую душу. Здесь он пропахал своим острым умом — плугом глубокие борозды, а своими точками *(a)* и *(b)* заложил первые, путеводные для нас вехи.

Всю свою долгую жизнь Д. К. Чернов работал и думал над темой об обработке металлов. С этой темой он впервые (1868 г.) выступил перед научным и техническим миром [1]), и доклады на ту же тему были его лебединой песнью [2]).

„Я теперь могу признать, что мне недолго осталось быть среди вас, и мне хотелось бы высказать те соображения и те теоретические объяснения явлений, главным образом имеющих место в тепловой обработке стали, которая представляет самую важную сторону сталелитейного дела, чтобы не пропало даром то, о чем я столько лет думал“, — так мотивировал Д. К. цель своих последних бесед с нами в Русском Металлургическом Обществе в 1914 — 1915 г.г.

---

[1]) Его доклад Русскому Техническому Общ. в 1868 г. „Критический обзор статей г. г. Лаврова и Калакуцкого о стали и стальных орудиях и собственные Д. К. Чернова исследования по этому же предмету“. См. перепечатку этого доклада в Ж. Р. М. О. за 1915 г. № 1.

[2]) Четыре доклада Русскому Металлургическому Общ. в 1914 — 1915 г.г. под общим наименованием „Афоризмы из области Металлургии стали“.

Чернова называют отцом Металлографии. Это, конечно, так! Но с тем же основанием его надо назвать отцом учения об обработке металлов, понимая под обработкой не только обработку тепловую (закалка, отпуск, отжиг), но и механическую (ковка, прокатка и пр.), словом — обработку в широком значении этого слова.

Почему? Не потому, конечно, что до Чернова обработки металлов не было. Даже Металлография — эта совсем новая наука — нельзя сказать, чтобы совсем не существовала до Чернова. Чернов сделал свои великие открытия в области Металлургии в 1868 г., между тем, в 1864 г. англичанин Сорби (Sorby) применил микроскоп к изучению железа. И тем не менее, не Сорби, а Чернова называют отцом Металлографии.

Итак, не потому Чернова нужно называть отцом Металлографии и отцом учения об обработке металлов, что до него не было совсем Металлографии, и тем паче не было обработки металлов, а потому, что он первый подметил связь между тепловыми превращениями в стали и ее структурой и свойствами — с одной стороны (Металлография) и между этими превращениями, структурой, свойствами и способом обработки стали — с другой (Учение об обработке стали). Словом, он первый заложил научный фундамент под изучение структуры и свойств металла в зависимости от тепловых и механических факторов обработки. И в этом вся суть дела. До него нельзя было говорить об обработке, как о факторе, определенным образом отражающемся на структуре и свойствах металла.

Конечно, и до Чернова сталь закаливали и ковали, и до Чернова удавалось на практике получать путем соответственной обработки хороший металл, но до всего этого доходили ощупью. Вопрос об обработке металла стоял совершенно неопределенно. История завода Круппа и изготовление на этом заводе стальных орудий в 60—70 г.г. прошлого столетия служат к тому яркой иллюстрацией. Достаточно вспомнить, что из-за отсутствия общих принципов обработки изготовление стальных орудий в начале было настолько несовершенно, опыты стрельбы, в первые годы, по причине частого разрыва орудий, сопровождались такой массой несчастных случаев, что и в Западной Европе, и у нас в России одно время поднимался вопрос — не отказаться ли совсем от стальных орудий, не остаться ли при старых бронзовых пушках. Конечно, нам теперь это кажется невероятным и даже смешным, но, это стало смешным только после того, как мы овладели общими принципами обработки стали. А они были даны Д. К. Черновым.

Что же внес Д. К. Чернов?

При обработке стали приходится различать два пути, два рода обработки:

1) Обработку, связанную только с теплотою без всякого участия внешних механических сил, откуда и название такого рода обработки — „тепловая (термическая)“ обработка. Сюда относятся операции, известные под названием закалки, отпуска, отжига.
2) Обработку, производимую за счет внешних механических сил, приложенных, однако, в определенных термических условиях, когда металл еще достаточно пластичен, и, следовательно, связанную, как и первого рода обработка, также с участием теплоты. Сюда относятся все механические операции, производимые над металлом в нагретом состоянии: ковка, прокатка, штамповка [1]).

Та и другая обработка преследуют свои определенные цели. Первого рода обработка (тепловая) преследует цель изменения свойств металла без изменения, однако, размеров и формы обрабатываемого куска [2]). Так, закалка преследует, как всем известно, цель увеличения твердости металла.

Воздействие теплоты на изменение свойств при этого рода обработке необходимо представлять себе обязательно происходящим через с т р у к т у р у стали, которая в конечном счете и определяет все свойства металла. Структура же в свою очередь теснейшим образом связана с теми внутренними превращениями, которые происходят в стали под влиянием теплоты.

Второго рода обработка (ковка, прокатка) преследует иные цели. Первая цель, как это очевидно для всех, — изменение размера и формы обрабатываемого куска, придание этому куску того размера и той формы, которые требуются данным изделием. Вторая цель, менее очевидная для всех, но тем не менее издавна преследуемая при ковке и прокатке, — это уплотнение металла, понимая под уплотнением уничтожение, путем механического сдавливания, всех внутренних пустот (пузырей, усадочных пустот и раковин), которые свойственны сырому металлу (в болванках, слитках, заго-

---

[1]) Иногда деформирование внешними механическими силами производится над металлом в х о л о д н о м состоянии — при обыкновенной температуре и вообще при пониженных температурах. Сюда относится, напр., операция протяжки (волочения) проволоки, труб и пр. — Мы не имеем в виду этого рода обработку. Легко видеть, что „холодная“ обработка отличается от „горячей“ термическими условиями внешнего механическ. воздействия. Особые термические условия придают обрабатываемому этим способом металлу особые свойства, а самой обработке своеобразие.

[2]) Соответствующие размер и форма обрабатываемому куску в этом случае придаются предварительной механической обработкой (ковкой, прокаткой, штамповкой).

товках). Наконец, имеется еще третья цель, еще менее очевидная, чем вторая, но тем не менее чрезвычайно важная — это улучшение качеств металла вообще, доведение этих качеств до той высоты, которая практикой предъявляется к изделию, дабы это изделие несло с честью возложенную на него работу (не ломалось, не изнашивалось и пр.).

Третья цель механической обработки достигается, как и при тепловой обработке, через изменение структуры металла.

Цель изменения путем обработки качеств металла через изменение его структуры мы и имеем главным образом в виду при обсуждении сегодняшней темы.

Рассмотрим последовательно все главнейшие операции обработки в связи с точками (*a*) и (*b*) Чернова. Начнем с закалки.

Как производится закалка стали?

Сталь нагревается и после нагрева быстро охлаждается в воде или масле. Однако, в этом определении процесса закалки кроется очевидная неопределенность, ибо нагревать сталь можно больше или меньше, до более высокой — или более низкой температуры, равно как и охлаждать после нагрева можно с большей или меньшей быстротой.

Д. К. Чернов первый подметил, что существует определенная температура, мало изменяемая с содержанием в стали [1]) углерода, при нагреве ниже которой сталь не принимает закалки, т. е. не изменяет своих свойств (не увеличивает твердости) и структуры, как бы быстро при таком нагреве ее ни охлаждать. Только при нагреве до этой определенной температуры (или выше) и быстром охлаждении, сталь принимает закалку. Эта температура и есть точка (*a*). По номенклатуре Чернова, она отвечает темно-вишневому калению.

В то время, когда Чернов сделал открытие своих точек (1868 г.), еще не существовало точных приборов (пирометров) для определения высоких температур. Приходилось определять степень нагрева по цвету каления металла. Впоследствии, 20 лет спустя, точка (*a*) была определена точно (700°) известным французским ученым Осмондом (*Osmond*) в лабораторной обста новке и названа им точкой A_1. Температура около 700° как рази отвечает тому цвету каления металла, который для точки (*a*) определил на глаз Д, К Чернов в 1868 г., работая со сталью в заводской обстановке (на Обуховском заводе).

Уже одно указание Чернова, что существует такая определенная температура, ниже которой сталь не принимает закалки, было событием колоссальной важности, ибо это указание, помимо практических результатов, должно было послужить, и на самом деле

---

[1]) Мы все время подразумеваем сталь обыкновенную (углеродистую) совершенно не касаясь так называемых специальных сортов стали.

послужило толчком к дальнейшим теоретическим изысканиям о сущности происходящих в этой точке превращений в связи с той структурой, которую получает сталь в результате закалки. Работами Осмонда задача эта была решена (1887 г.).

Термическая операция отжига стали и все механические операции (ковка, прокатка, штамповка), производимые над металлом в горячем состоянии, теснейшим образом связаны со второй точкой Чернова — точкой (*b*). Да и самая закалка, как это мы сейчас увидим, также связана не только с точкой (*a*), но и с точкой (*b*).

Смысл и значение точки (*b*) разъяснены были Черновым на операции ковки стали в том же 1868 г. (см. его первый доклад Р. Т. О.) Почему именно на этой операции, а не на другой — это имеет свое обоснование. Как я уже упоминал, в 60 — 70 годах прошлого столетия вопрос об обработке стальных орудий и заграницей, и у нас стоял очень остро. Д. К. Чернов, служивший тогда на Обуховском заводе, волею судеб был поставлен перед дилеммой — во что бы то ни стало добиться удовлетворительных результатов в деле изготовления стальных орудий на этом заводе. Ковка орудийных стволов является одной из главнейших операций обработки их. Вот почему Д. К. Чернов и устремил внимание прежде всего на ковку стали.

Как производятся операции ковки и прокатки стали?

Сталь сильно разогревается (до желтого или даже белого каления, т.-е. в пределах от 1100° до 1300° Ц.) и в таком сильно разогретом состоянии куется под молотом или прокатывается в валках [1]).

Сильно разогретое состояние в этом случае необходимо для первых двух целей механической обработки: 1) измененения величины и формы обрабатываемого куска металла в соответствии с величиною и формою изделия, 2) уничтожения внутренних пустот (пузырей, усадочных пустот), свойственных сырому металлу. Недостаточно прогретый металл не обладает должной пластичностью и, что самое главное, не дает возможности освободиться от внутренних пустот. Полное уничтожение (заварка) внутренних пустот

---

[1]) Сталь тем сильнее нагревается перед ковкой и прокаткой, чем она мягче, т.-е. чем меньше содержит углерода. Твердая и средней твердости сталь нагревается до 1050 — 1150° Ц. Совсем мягкая сталь (железо) может быть и должна быть нагреваема гораздо выше — до 1300° и даже 1350° Ц. Однако нагрев не должен быть чрезмерный, ибо при чрезмерном повышении температуры сталь сильно перегревается и даже пережигается (горит), признаком чего является выделение из нее искр. Поэтому нагрев отнюдь не должен доводиться до выделения искр, так как в пережженном состоянии сталь при ковке и прокатке дает трещины, либо даже разваливается совсем. Д. К. Чернов в 1868 г. отметил и это обстоятельство, связав его с особой точкой, названной им точкой (*X*). Точка эта, как и точка (*b*), перемещается с содержанием углерода — она лежит тем ниже, чем больше углерода в стали.

путем механического сдавливания возможно только тогда, если металл достаточно сильно прогрет. Как и чем достигается третья, главнейшая цель механической обработки — улучшение качеств металла вообще, связанное с его структурой, увидим из дальнейшего.

В самой операции ковки или прокатки неизбежно приходится различать два термических момента: 1) температуру начала 2) температуру конца обработки. Ясно, что, начавши ковать или катать сталь, скажем, при 1100°, можно закончить операцию раньше или позже, т.-е. при более высокой или более низкой температуре, можно закончить при 1000°, а можно и при 800°.

Оказывает ли влияние на свойства обрабатываемого металла температура конца обработки? Оказывает и при том очень большое.

И вот Чернову опять принадлежит честь первого открытия той температуры, при которой надо заканчивать ковку или прокатку, дабы металл обладал наилучшими качествами. Эту температуру он назвал т о ч к о й (*b*).

Температура эта — своя для каждого сорта стали, т.-е. она перемещается в зависимости от содержания углерода в стали: чем больше углерода, тем она ниже. Для стали средней твердости (0,5 — 0,6% углерода) точка (*b*), по определению Чернова, лежит при к р а с н о м н е б л е с т я щ е м калении [1]).

Что это за точка? Какому превращению она отвечает?

Чернов определяет ее так. Точка (*b*) — это такая точка, при нагреве ниже которой сталь не изменяет своей структуры [2]), как бы медленно или быстро [3]) она ни охлаждалась. При нагреве же до этой точки, сталь резко изменяет свою структуру, переходя из зернистого или вообще кристаллического состояния в аморфное (воскообразное), которое и удерживает при дальнейшем повышении температуры до самой точки плавления. При обратном охлаждении от точки (*b*) и выше, сталь снова делается кристаллической и зернистой и при том тем более кристаллической, тем более зернистой, чем выше была температура нагрева за точкой (*b*), и чем медленнее было охлаждение. Если нагрев произвести только до точки (*b*) или слегка выше ее, тогда при обратном охлаждении сталь получает весьма мелкозернистое, почти „аморфное“ сложение.

---

[1]) В переводе на градусы это отвечает температуре около 800° Ц. Для железа положение точки (*b*) по первоначальному определению Чернова, отвечает б е л о м у калению. Впоследствии Д. К. отказался от этого, считая положение точки (*b*) для железа определенным им неправильно, слишком высоким.

[2]) т.-е. структуры, бывшей у нее до нагрева (А. Б.).

[3]) Здесь под быстрым охлаждением Д. К. Чернов очевидно не подразумевает закалку, а обычное охлаждение — более или менее быстрое (А. Б.).

Приведенным определением точки (*b*) по Чернову воспользуемся, чтобы поставить в связь эту точку с термической операцией отжига.

Как известно, одним из главных назначений правильно веденного отжига является получение мелкозернистого металла. Это же впрочем является целью и всякой другой обработки — термической и механической (не исключая и закалки). В условиях заводского производства металл зачастую получает крупнозернистое сложение. Не говоря уже про совершенно сырой необработанный металл (слитки, отливки), это вообще бывает в тех случаях, когда, согласно только что сказанному, он остывает от высоких температур, значительно превышающих точку (*b*). Металл с крупнозернистым сложением обладает плохими качествами. Необходимо принимать меры к его исправлению, превращая его в мелкозернистый.

И вот отжиг является одной из таких исправляющих операций. Операция отжига (как всякая термическая операция, производимая исключительно за счет теплоты) состоит в соответственном нагреве металла, сопровождаемом соответственным же охлаждением. Из сказанного ясно, что для получения мелкозернистого сложения сталь при отжиге должна быть нагрета до точки (*b*) или слегка выше ее. При нагреве ниже точки (*b*) сталь не изменит свою первоначальную структуру (крупнозернистую). При нагреве значительно выше точки (*b*) сталь снова принимает крупнозернистое сложение. Таким образом, при нагревах ниже и выше точки (*b*) цель не будет достигнута. Только при нагреве до точки (*b*) или слегка выше ее металл сделается мелкозернистым. Охлаждение при отжиге, в противоположность тому, что делается при закалке, должно быть медленное.

Из сказанного следует, что операция отжига теснейшим образом связана с точкой (*b*).

Вернемся, однако, к операциям ковки и прокатки.

Вы спросите у меня, какое же отношение может иметь точка (*b*), как она определена выше, со всеми происходящими в ней, а также выше и ниже ее, превращениями к тому положению Чернова, что сталь, обладающая наилучшими качествами, должна быть закончена проковкой или прокаткой при этой именно точке?

С первого взгляда может показаться, что здесь нет связи или связь только отдаленная. На самом деле это не так. Связь здесь самая тесная: она нуждается только в выявлении.

Как я уже сказал, целью всякой обработки и в том числе обработки механической (ковки, прокатки) является получение металла мелкозернистого без ярко выраженных кристаллов (почти

„аморфного“, по выражению Чернова). Чем мельче кристаллы, чем мельче зерна, тем лучшими качествами[1]) металл обладает.

Кристаллы (зерна) для своего выявления требуют **спокойного** медленного охлаждения. Чем выше температура нагрева за точкой (*b*) и чем спокойнее, медленнее охлаждение, тем крупнее получаются кристаллы, и тем, следовательно, хуже для качеств стали. Металл, **спокойно** охлажденный от температур, до которых он нагревается перед началом ковки или прокатки и вообще от высоких температур, обладает чрезвычайно крупным зерном. В таком состоянии техническая ценность его весьма низка.

Не то бывает при ковке и прокатке, когда сильно разогретый металл (слитка, заготовки), с его первоначально весьма крупными зернами, подвергается сильному же деформированию и сотрясениям, когда, следовательно, на время этих операций он бывает лишен беспрепятственного, спокойного охлаждения.

Влияние ковки и прокатки, в процессе их совершения, на структуру стали пока почти не изучено. Тем не менее, это влияние можно представить себе в виде одновременного действия двух процессов: 1) процесса деформирующего (механического), 2) процесса отжигательного (термического). Под влиянием первого процесса первоначально крупные и равноосные зерна деформируются (вытягиваются, удлиняются) в направлении действующего усилия. Второй процесс, происходящий за счет внутренней теплоты металла, действует в обратную сторону, стремясь уничтожить все следы деформирования зерен, вернуть зернам их первоначальную форму (равноосную) и величину. При этом, что касается последней, то в каждый данный момент обработки второй процесс, очевидно, может довести

---

[1]) Мы не определяем здесь, что это за качества и чем и как они измеряются. Достаточно сказать, что в обработанном металле качества эти должны быть таковы, чтобы металл в изделиях достаточно хорошо сопротивлялся износу и излому во время службы. Повышенное же сопротивление износу и излому обусловливается, прежде всего, повышенной упругостью металла при надлежащей его тягучести (пластичности). Эти же свойства (упругость и тягучесть) в конечном счете связаны со структурой металла. Точно так же мы не уточняем здесь сложного вопроса о структуре металла, различая структуры только по степени зернистости, как это издавна практикуется. Элементарное представление о структуре хорошо и плохо обработанного металла, в смысле степени зернистости его, можно получить по излому металла. Этим простейшим методом пользовался Д. К. Чернов в 60-х годах прошл. стол. для изучения структуры стали, подверженной тем или другим обработкам. Полное же и ясное представление о структуре металла можно получить, лишь изучая его под микроскопом, что и составляет предмет металлографии (метод микроструктуры). Об относительной степени зернистости металла тот и другой метод в общих чертах дают одинаковое представление. Крупнозернистый металл по излому, как общее правило, оказывается крупнозернистым же под микроскопом, и точно так же мелкозернистый по излому оказывается мелкозернистым и под микроскопом.

ванки; таковы: неодинаковый нагрев, неодинаковое охлаждение и, в особенности, неодинаковое механическое действие ударов молота для различных мест болванки. Вследствие физической неоднородности в металле развиваются внутренние частичные натяжения, которые особенно велики, если происходит наклепка, т.-е. ковка при сравнительно низкой температуре. При этом внутренние слои, охлаждаясь спокойнее и сравнительно медленнее, получают более развитое кристаллическое сложение, а наружные, под влиянием ударов, получают чрезвычайно спутанное и раздробленное строение и несколько меньшую плотность, чем внутренние. Поэтому с прокованной болванкою из более твердой и сильно-углеродистой стали нужно обращаться весьма осторожно и по возможности уничтожить при помощи соответствующего отжига внутренние натяжения раньше, чем приступать к отделке поверхности на станке; иначе, после снятия наружного слоя ось болванки может искривиться, и, вместе с тем, сопротивление снятию стружки, оказываемое металлом, будет неравномерное, вследствие неодинаковости сложения болванки в различных частях. С другой стороны, ряд цифр, полученных Д. К. Черновым в результате механических испытаний литой стали в различных ее состояниях, ясно показывает, что под влиянием одной только термической обработки, т.-е. нагревания и охлаждения в различных условиях температуры и времени, можно вызвать такое перегруппирование атомов и молекул стали, что новополученный материал становится весьма мало похожим по механическим, а равно и физико-химическим свойствам на прежний, претерпевая подлинную перекристаллизацию в твердом состоянии.

Не меньшим новатором явился Д. К. Чернов в другом вопросе, теснейшим образом связанном с предыдущими,—в вопросе о происхождении и природе своеобразных рисунков на восточных булатных клинках в связи с замечательными режущими и упругими свойствами этих клинков, заставлявшими долгое время предполагать о каком-то особом химическом составе стали, употреблявшейся для изготовления булата у древних восточных народов.

Если Аносов своими исследованиями и опытами в тридцатых годах XIX века, произведенными на Златоустовском заводе, на Урале, категорически решил вопрос о способе производства булатной стали, не уступающей по своим качествам лучшей дамасской стали „вуц“, и тем положил начало получению металла повышенных качеств в современных ему заводских условиях, то Д. К. Чернову, с другой стороны, принадлежит не менее важная заслуга пионера в деле выяснения природы причудливых узоров, выступающих на поверхности булатных клинков при окончательной их внешней отделке. Почин Д. К. Чернова в деле исследования структуры булатной стали и возможности искусственного ее воспроизведения

вызвал последователей в лице ученика его Н. Т. Беляева, а также позднее—и некоторых других, как, например, Н. И. Беляева и А. П. Виноградова, работы которых в значительной мере способствовали дальнейшему разрешению проблемы.

Согласно заключению Д. К. Чернова, причину превосходных качеств старинных восточных булатных клинков следует искать не в присутствии каких-либо особенных посторонних примесей, как это склонны были допускать прежде многие авторитетные металлурги, но как раз, наоборот, в совершенном отсутствии всяких примесей за исключением углерода, т.-е. в поразительной чистоте стали. По теории Д. К. Чернова, получившей впоследствии блестящее подтверждение, видимый невооруженным глазом необыкновенно замысловатый узор булата представляет ни что иное, как рисунок крупно-кристаллического строения чистой углеродистой стали, являющегося результатом особенно благоприятного развития процесса кристаллизации, благодаря весьма замедленному ходу охлаждения слитка-сырца при его затвердевании. Последующая ковка булатного клинка, производящаяся при не слишком высокой температуре и с нагреванием не выше точки „*b*“ Чернова, видоизменяет определенным образом взаимное расположение и форму кристаллических агрегатов, не нарушая нисколько первичной крупно-кристаллической структуры стали.

При всей разносторонности научно-технической и учено-учебной деятельности Д. К. Чернова, при чрезвычайном разнообразии вопросов, разрешение которых составляло круг его служебных обязанностей, он все же с неизменною любовью и воодушевлением посвящал особенно много времени и внимания изучению явления кристаллизации не только стали, но и других веществ. Многим из знавших лично Дмитрия Константиновича памятна особенная любовь его, доходившая до страсти, к искусственному воспроизведению и выращиванию кристаллов квасцов, к производству систематических наблюдений над их ростом, к коллекционированию кристаллов вообще и т. д. В этом отношении особенно любопытно отметить исключительный интерес, с каким Д. К. Чернов изучал процесс кристаллизации воды при ее замерзании, как он любил следить за возникновением и распространением узоров льда на оконных стеклах при заморозках в зимнее время. Сохранились многочисленные фотографические снимки оконных узоров льда, сделанные им лично,—в том числе один, отмеченный датою: 24-го февраля 1915 года; в это время Дмитрию Константиновичу шел уже семьдесят шестой год.

Здесь уместно подчеркнуть, что в процессе кристаллизации льда и стали, несмотря на глубокое различие в химической природе этих тел и в температурах их плавления, все же замечается

много общего. Так, напр., столбчатое строение, свойственное наружным слоям стального слитка, можно наблюдать также и у льда, в особенности в крупных глыбах искусственного льда, где столбики также расположены перпендикулярно к поверхности охлаждения. В верхних частях глыб искусственного льда образуются грушевидные полости, соответствующие усадочной раковине в слитке стали, при чем в этих грушевидных полостях часто находят прекрасно образованные мелкие кристаллы льда. Наконец, газы, выделяющиеся из растворенного состояния при застывании растворителя, являются причиною появления пузырей как в слитках стали, так и в массах льда, подобно тому как это часто наблюдается в литом стекле.

В 1907 году Д. К. Чернов с благотворительною целью (в пользу нуждающихся студентов) прочитал в Соляном Городке перед переполненной аудиторией публичную лекцию на тему: „Кристаллизация воды и железа“, где он в чрезвычайно живой и картинной форме выявил то общее, что объединяет и направляет процессы зарождения и роста кристаллических индивидуумов в различных веществах. В этой лекции, иллюстрированной многочисленными диапозитивами, Д. К. Чернов, по единодушным отзывам тогдашних газет, „показал наглядно на экране, что в процессе строения кристаллов, хотя и мертвых тел, наблюдается, тем не менее, такая же кипучая жизнь с ее борьбой за существование, какая присуща растительному и животному миру“. Вопрос о взаимоотношении между мертвою и живою природою не переставал занимать Д. К. Чернова до конца его жизни, и повидимому, именно в кристаллах и их аггрегатах он склонен был видеть связующее звено между обоими группами тел природы. В последнем задуманном им крупном труде, под названием: „Афоризмы из области металлургии стали“, оставшемся, к сожалению, в незаконченном виде, Д. К. Чернов сделал попытку свои представления о кристаллизации и структуре стали, о закалке и т. п. физико-химических явлениях связать с общим своим научным миропониманием, вполне справедливо считая, что одни и те же законы управляют молекулами воздушной атмосферы и коллоидных растворов. Пусть эти попытки сейчас еще многим покажутся слишком смелыми или преждевременными, или, быть может, недостаточно убедительными по своей аргументации, тем не менее самая постановка вопроса в такой плоскости свидетельствует о необычайной пытливости ума и духа, о гениальной прозорливости и о глубоко романтической натуре Д. К. Чернова. Со свойственною крупному таланту силою дерзнул он проникновенным взором охватить единым взглядом мир бесконечно-малого и мир бесконечно большого, — мир микроскопический и мир космический, и в обоих крайних проявлениях организованной материи

провидел одни и те же кирпичи мироздания, лишь различным образом сгруппированные.

Такова была сила творческого гения Дмитрия Константиновича Чернова, сумевшего без помощи пирометра констатировать наличность термических превращений в стали, без помощи усовершенствованных оптических приборов разрешить загадку внутреннего строения непрозрачной металлической массы литого железа и стали и без специальных лабораторных экспериментов, путем лишь простого наблюдения заводских продуктов в процессе их производства, — установить с несомненностью факт ее кристаллизации и обрисовать в деталях характер последней.

величину зерен до размера, соответствующего температуре этого момента (не более).

Так как операция ковки или прокатки продолжается некоторое время (измеряемое при солидной ковке или прокатке во всяком случае минутами), и за это время температура металла неизбежно падает, часто весьма значительно, то металл, пройдя через всю операцию от начала до конца, постепенно изменяет под влиянием указанных процессов величину зерна. Это изменение величины зерна очевидно может совершаться только в одном направлении, именно в направлении уменьшения размеров зерен, ибо с понижением температуры обработки деформирующий процесс все усиливается, а отжигательный все ослабевает[1]).

Лишь с окончанием операции, с наступлением условий для беспрепятственного спокойного охлаждения, когда первый процесс отпадает, сформированные под влиянием второго процесса зерна до величины, соответствующей температуре конца обработки, при дальнейшем спокойном охлаждении уже не будут изменять своей величины и формы.

Из сказанного следует, что чем дольше продолжается операция ковки или прокатки, чем дальше, следовательно, отодвигается момент для начала спокойного охлаждения металла, т.-е. чем ниже температура конца обработки, тем лучше[2]).

Ясно, отсюда, что если закончить ковку или прокатку при такой температуре, от которой сталь при спокойном медленном охлаждении может дать только мелкие кристаллы (мелкие зерна), тогда в результате мы получим металл, который нам нужен.

Вот эта температура и есть точка (*b*) Чернова.

Заканчивая ковку или прокатку при температурах, значительно превышающих точку (*b*), мы обязательно получим крупнозернистое

---

[1]) Вернее и точнее будет сказать, что с понижением температуры обработки первый процесс все более и более преобладает над вторым. Фактическим подтверждением этого положения является наблюдение, что металл, обработанный при высоких температурах, получается всегда с зернами равноосными и крупными (хотя, конечно, и не столь крупными, как первоначальные зерна слитка до начала его обработки). Вытянутые зерна, т.-е. зерна со следами явной деформации их, получаются только при пониженных температурах обработки (холодная обработка), когда отжигательный процесс сильно теряет в своей скорости.

[2]) Из этого же в свою очередь следует, что погоня за чрезмерным увеличением производительности прокатных и ковочных устройств, за чрезмерным выходом металла при прокатке (напр., рельсов) или проковке, практикуемая за последние десятилетия при массовом производстве изделий, зачастую приводит к получению изделий плохого качества, ибо чрезмерная быстрота обработки неизбежно бывает связана с нарушением систематической и постепенной обжимки металла (с уменьшением числа ручьев прокатного стана) и с повышением при этом температуры обработки.

сложение в ущерб качествам металла. Заканчивать ковку или прокатку при температурах, лежащих значительно ниже точки (*b*), затруднительно по техническим причинам. Металл в этом последнем случае от чрезмерного понижения температуры делается настолько жестким, столько теряет в пластичности, что обрабатывать его при таких температурах становится затруднительно: в случае прокатки, легко сломать валки, в случае ковки—легко получить трещины (особенно в кантах).

Как определялась точка (*b*) самим Черновым? По изменению структуры стали. Сталь, имеющая определенную структуру, скажем крупнозернистую, постепенно нагревалась до разных температур, пока при охлаждении от определенной температуры она резко ни изменяла своей первоначальной (крупнозернистой) структуры, превращаясь в мелкозернистую. Этот момент и есть точка (*b*). Структура же стали определялась на глаз по излому образца, ибо в те времена иного способа определ.ния структуры не существовало.

Итак, вот смысл точки (*b*). Точка (*b*) определяет собою структуру стали, а, следовательно, и качества ее: 1) при нагреве и охлаждении без всякого внешнего механического воздействия (отжиг), 2) при ковке или прокатке. Словом, точка (*b*) определяет собою структуру, а, следовательно, и качества стали, при всякой обработке[1])—термической (мы сейчас увидим, что точка (*b*) связана и с закалкой) и механической.

А качества одной и той же стали, в зависимости только от ее обработки, могут быть крайне разнообразными. Д. К. Чернов— и в начале, когда общие принципы обработки им были только что даны, и после неоднократно подчеркивал, подтверждая это фактическими данными, что способ обработки сказывается на результатах очень резко, значительно резче, нежели химический состав.

Идеи Чернова для своего времени казались слишком новыми и смелыми, скажем прямо — дерзкими, особенно, если принять во внимание, что провозвестник этих идей был еще очень молодой человек (ему в то время было всего 28 лет) с весьма непродолжительной перед тем (двухлетней) заводской практикой. Неудивительно, что на первых порах идеи Чернова встретили резкую оппозицию. Но это его не смутило. Свой доклад Русскому Технич. Общ. в 1868 г. он заканчивает следующими пророчески-смелыми словами:

„Что касается вообще до проводимых мною идей, то я уже получил упреки в том, что слишком смело высказываю свои выводы, но пусть же я покажусь еще смелее и выскажу окончательное заклю-

---

[1]) Исключение составляет лишь „отпуск", связанный с точкою (*a*).

чение из своих наблюдений в следующих словах: вопрос о ковке стали, при движении его вперед, не сойдет с того пути, на который мы его сегодня, милостивые государи, поставили".

Предсказания Д. К. Чернова вполне оправдались. Мы все теперь знаем, что обработка стали, в историческом ходе ее развития, не сошла с пути, им предуказанного. Путь этот с течением времени лишь расширялся и углублялся, но направление его остается прежним. Общие принципы обработки, данные нам Д. К. Черновым, остаются незыблемыми.

Вернемся, однако, еще к точке *(b)*, так как вышесказанным смысл ее все же не исчерпывается.

Не в первом своем докладе, а несколько позднее (1886 г.) Д. К. Чернов, говоря о закалке стали, охарактеризовал это явление следующим образом:

„Когда мы нагреваем сталь до температуры красного каления 750—800°, т. е. когда сталь примет аморфное (воскообразное) сложение [1]), тогда, если мы будем ее очень быстро охлаждать, то мы предупредим образование крупных кристаллов, крупных зерен, предупредим возможность группировки частиц в отдельные зерна и если мы не дадим вовсе времени для какой бы то ни было группировки частиц, то мы задержим это аморфное состояние и получим в холодном состоянии структуру, ничего общего с кристаллической не имеющую.... Чем больше мы охлаждаем сталь, тем больше задерживаем это аморфное состояние".

Этой цитатой, взятой мною из лекции [2]), читанной Д. К. Черновым 28 января 1886 г. в Институте Инженеров Путей Сообщения, охарактеризовано явление закалки, как понимал его Д. К. Чернов, и вместе с тем из нее ясно видна тесная связь этого явления с точкой *(b)*.

Сопоставим эту старую характеристику явления закалки, как она нам дана Д. К. Черновым, с современной характеристикой этого явления.

Мы в настоящее время характеризуем закалку, как явление, при котором путем быстрого охлаждения от температур, лежащих выше верхней критической точки A_3, закрепляется (задерживается) при обыкновенной температуре состояние твердого раствора стали, которое она имеет выше этой критической точки [3]). При этом, чем

---

[1]) Читай, следовательно, до точки *(b)* [А. Б.].

[2]) Лекция эта хранится в архиве Д. К. Чернова и впервые печатается в настоящем сборнике.

[3]) Здесь подразумевается сталь до-эвтектоидного состава с содержанием углерода меньше 0,9%, и кроме того подразумевается полная закалка, а не частичная. Для частичной закалки этого рода стали (как и всякой стали) достаточно нагреть слегка выше первой критической точки A_1 (*a*—Чернова). Для полной же закалки необходимо нагревать выше верхней критической точки A_3.

быстрее сталь охлаждается, тем совершеннее задерживается это состояние при обыкновенной температуре.

Замените теперь точку *(b)* Чернова точкой A_3 Осмонда, как это и на самом деле часто делается, и „аморфное (воскообразное)“ состояние Чернова состоянием „твердого раствора“, и вы получите полное тождество в характеристике явления закалки — Чернова и современной.

Точка *(b)*—любимая точка Чернова. О ней он говорил и писал очень много до последних дней своей жизни. Вокруг этой точки было много споров. Здесь не место касаться всех тех недоразумений, которые были порождены и у нас, и за границей точкой *(b)*.

Точка *(a)* Чернова не вызывала ни у кого споров. Это—самая бесспорная точка и для самого Чернова, и для других. И тем не менее, сам Чернов редко говорил о своей точке *(a)*. Не потому ли, между прочим, что все бесспорное перестает для нас быть интересным. Ум человека невольно устремляется к загадочному, стараясь его разгадать.

Вчитываясь в труды Д. К. Чернова, особенно последнего времени, невольно заражаешься впечатлением, что Чернов до конца дней своих не хотел сказать последнего слова о своей точке *(b)*, не хотел признать ее бесспорности в том же смысле, как он сам признал бесспорность своей точки *(a)*. Точку *(a)* он охотно отождествлял с точкой A_1 Осмонда (точкой рекалесценции) и по положению, и по смыслу происходящих в ней превращений.

Не то с точкой *(b)*. Точку *(b)* Д. К. Чернов склонен был отождествить с точкой A_3 Осмонда только по положению, но не по смыслу происходящих в ней превращений. Смысл происходящих в точке A_3 превращений совершенно ясен и бесспорен. Смысл происходящих в точке *(b)* превращений для самого Чернова не был бесспорным, а в значительной степени гипотетическим [1]).

И мне думается, что причина этого лежит в том, что Д. К. Чернов хотел во что бы то ни стало связать проблему закалки стали с существом происходящих в точке *(b)* превращений. А так как проблема закалки в ее существе сложна и темна, то и происходящие в точке *(b)* превращения в существе своем также сложны и темны [2]).

---

[1]) В письме к редактору журнала „Русск. Металл. Общ.“ в 1916 г. (перепечатано в настоящем сборнике), написанном с целью разъяснения смысла точки *(b)*, Д. К. Чернов определенно говорит: „По отношению к точке *(b)* вопрос осложняется, так как моя точка обозначает понятие о т в л е ч е н н о е, т е о р е т и ч е с к о е, п р а к т и ч е с к и н е у л о в и м о е“.

[2]) Во избежание недоразумений, считаю необходимым отметить, что сам Д. К. Чернов никогда и нигде о п р е д е л е н н о не говорил и не писал об этом, но таково мое впечатление, мой вывод из того, что он говорил и писал о точке *(b)* в последние годы.

Проблема закалки очень беспокоила и даже мучила Д. К. Чернова, особенно в последние годы.

Как известно, проблема эта до сих пор не разрешена, до сих пор не имеется теории, которая удовлетворительно объясняла бы все свойства закаленной стали. Я уже упоминал о том, как характеризовал явление закалки Д. К. Чернов, и как характеризуем его все мы. Но отсюда еще очень далеко до разрешения проблемы закалки в ее существе. Отчего закаленная сталь очень тверда? Отчего всякая закаленная сталь (даже, если она закалена самым энергичным образом) магнитна, в то время, как та же самая сталь при температурах, от которых она закаливается, немагнитна? Вот вопросы из числа еще многих, не нашедших до сих пор удовлетворительного разрешения.

Так называемая „аллотропическая“ теория Осмонда и др., согласно которой твердость закаленной стали обусловливается железом (β), Чернова не удовлетворяет.

„Это железо β [1]) никакой пищи уму не дает. Надо что-нибудь придумать, что успокоило бы“ [2]).

Для него:

„Закалка стали для сколько-нибудь ясного ее понимания требует установления основных понятий о силах, действующих в природе, и о формах проявления их в том или другом виде превращений мировой энергии... Теория закалки или теория вообще тепловой обработки стали каждого отдельного автора должна согласоваться с основными понятиями его о сущности и виде проявления и превращения вездесущей мировой энергии“...

„Вопрос о твердости закаленной стали есть вопрос молекулярных сил“.

Мир молекул—вот где исключительно витает его воображение в последние годы. И в закаленной стали он ничего не хочет видеть, кроме молекулярных сил. Нужды нет, что „аллотрописты“ скажут: аллотропические превращения—это тоже молекулярные превращения. Для Чернова нужен механизм действия этих сил, и если его не дают или дают его в скрытом виде—это его не удовлетворяет.

И в этом опять-таки видна, по нашему мнению, прозорливость Чернова. Быть впереди своего времени—было отличительной чертой его жизни.

---

[1]) К слову сказать, ныне уже почти всеми отвергаемое (*А. Б.*).

[2]) Эта и последующие цитаты нами взяты из последних докладов Д. К. Чернова под наименованием „Афоризмы из области металлургии стали“. (1914—1915 г.г.) и предисловия к ним, написанного собственноручно покойным. Доклады эти хранятся в архиве Чернова и впервые печатаются в настоящем сборнике (в неполном виде).

Еще „молекулярная физика“ не успела встать на ноги, а Д. К. Чернов уже твердит об исключительной важности изучения мира молекул.

Но мир молекул пока скрыт от нас, и потому природа и жизнь, во всем существе и многообразии явлений, для нас в значительной степени также пока скрыты и непонятны, несмотря на то, что для изучения их мы вооружаемся телескопами и микроскопами.

„Мы должны помнить, что и налево, и направо от нас бесконечность. Смотря в одну сторону, мы вооружаемся телескопом, а в другую—микроскопом. Между 1 (единицей) и 0 (нулем) можно поместить совершенно такое же количество величин, как между 1 и ∞ (бесконечностью), а нам растояние между 0 и 1 кажется маленьким“.

И, как пример того, что мы повсюду окружены явлениями, в существе своем еще мало нам понятными, Д. К. Чернов приводит свои наблюдения над кристаллизацией воды на оконных стеклах (зимние узоры), как бы нарочно выбрав самое обычное, всем нам знакомое явление.

Кристаллы воды „и по виду, и по форме сходственны с кристаллами металлов“.

А что здесь за узор мы видим на стекле?

„Вот членистое растение, напоминающее солитера. Оно разветвляется по этим направлениям, что напоминает воспроизведение себе подобных. Другого объяснения сделать нельзя... Образуется почти похожее на организм, который может воспроизводить себе подобных.... А вот это очень похоже на куст, на филодендр. Здесь он как бы имеет общий корень. От него идут ветви во все стороны. Настояший организм! При небольшом напряжении воображения мы можем закончить его цветами. А на самом деле—ведь это только вода. Да, чем больше смотришь, тем меньше знаешь. Вот новый вопрос, на который нет никакого ответа“.

Как объяснить все эти загадочные явления? Кристаллы—те же организмы. В растительном и животном царствах происходят явления, аналогичные кристализации в царстве минеральном. Гебридизация и прививка аналогичны изоморфизму.

Зарождение кристаллов, как и зарождение организмов вообще, зависит от первого импульса.

„Вся будущность кристалла зависит от первого импульса. Этот первый импульс определяет всю его судьбу... Что-то сидит внутри и управляет всеми движениями... Импульсы организмов бесконечно разнообразны. А раз известный импульс дан, судьба организма решена“.

„Где скрыт этот импульс жизни?“ — вопрошает Д. К. Чернов.

И заканчивает свою лекцию:

„Вот я говорил о том, о сем, о том, как я воображаю молекулы, все лишь для того, чтобы дать себе хоть маленькое успокоение“.

Да, человек, ищущий, где скрыт импульс жизни—добавим мы от себя,—может рассчитывать только на маленькое успокоение.

Полное успокоение означает смерть.

Святое беспокойство—вот смысл нашей жизни.

И жизнь Д. К. Чернова как нельзя больше говорит об этом.

Д. К. ЧЕРНОВ и АРТИЛЛЕРИЙСКОЕ ДЕЛО.

И. А. КРЫЛОВ.

(Лекция, прочитанная в Доме Ученых и в Горном Институте в 1922 г.).

Ко дню 75-ти летнего юбилея со дня рождения Д. К. Чернова 20 окт. 1914 г. проф. А. А. Байков писал: „значение работ Д. К. Чернова сделается особенно ясным, если вспомнить, что первое приложение своей теории к практике Д. К. сделал на производстве стальных орудий на Обуховском заводе и положил начало тем блестящим результатам, которых русские заводы достигли в изготовлении пушек и снарядов".

Д. К. Чернов еще в 1868 г. своими исследованиями показал, что во время нагревания и охлаждения стали и железа при некоторых температурах, названных им (*a*) и (*b*), происходят превращения.

В зависимости от скорости прохождения металлом его критических точек или, как мы их должны назвать, точек (*a*) и (*b*) Чернова, в состоянии покоя или подвергаясь толчкам (ковка), металл получает разную структуру.

Открытие Д. К. Черновым его замечательных точек облетело весь мир, и Д. К. по сие время пользуется широкой известностью не только у нас в России, но и в Западной Европе и Америке.

Во время всемирной Парижской выставки Г. Монгольфье, директор одного из крупнейших металлургичаских заводов Франции, обратился со следующими словами к Комиссии экспертов: „Считаю своим долгом открыть и публично заявить в присутствии стольких знатоков и специалистов, что наши заводы и все сталелитейное дело обязаны своим настоящим развитием и успехами в значительной мере трудам и исследованиям русского инженера г. Чернова, и приглашаю вас выразить ему нашу искреннюю признательность и благодарность от имени всей металлургической промышленности".

Если это обращение имело место какие нибудь двадцать с небольшим лет назад во Франции, то что же Д. К. Чернов застал у нас на Обуховском заводе перед тем, как выступить ему в 1868 г. с своим знаменитым докладом, скромно озаглавленным: „Критический обзор статей г. г. Лаврова и Калакуцкого о стали и стальных орудиях и собственные Д. К. Чернова исследования по этому же

предмету". В России изготовление стальных орудий началось с 1858 г. и не было у нас результатом развития стального дела, введенного до того времени едва ли не единственно в Златоустовском заводе, да и то в весьма ограниченных размерах.

Сталелитейное дело в широких размерах, каких требует приготовление стальных орудий, было введено только у известного прусского фабриканта Круппа и по недоступности его фабрики для посторонних посетителей оставалось для других секретом.

Поэтому Д. К. Чернов и полагал, докладывая о трудах г. г. Лаврова и Калакуцкого, как, по его мнению, не имеющих ничего себе подобного не только в русской, но и в иностранной литературе, признать заслуживающими полной признательности к их авторам. Работы эти служат точным протоколом общего положения у нас сталелитейного и пушечного дела; на них надо смотреть, как на подход к решению вопроса, но самое решение его было впереди и требовало или дальнейших длительных исканий, хождения кругом и около, или наоборот немедленного гениального приступа к делу и его решения так просто и так замечательно, как это было исполнено Д. К. Черновым.

Недаром проф. А. А. Байков сказал в свое время, что с именем Д. К. Чернова связан тот глубокий переворот, какой произошел в металлургии стали и благодаря которому производство стальных изделий из состояния ремесла и эмпирического искусства превратилось в стройную научную дисциплину, основанную на строгих и точных законах природы.

При изготовлении стали надо было изучить структуру стальных литых болванок, а для их ковки и термической обработки отжигом и закалкой надо было знать для каждого сорта стали свои точки (*a*) и (*b*). Гениально просто-большего ничего не требовалось, и справедливо Д. К. высказался в конце своего доклада Р. Т. О. в 1868 г., что „вопрос о ковке стали при движении его вперед не сойдет с того пути, на который мы его сегодня поставили",

И действительно вопрос о структуре стали, о ее ковке и термической обработке не сошел с того пути, на который поставили его открытия Д. К. Чернова, облетевшие весь мир еще в 70 годах прошлого столетия, и только дальнейшими исследованиями и работами ученых этот верный путь, избранный Д. К. Черновым, еще более углублялся и расчищался в сторону подтверждения его гениальных начинаний, проведенных в то время, когда об этом не приходилось и мыслить, как показывали работы г. г. Лаврова и Калакуцкого. Насколько в науке общепризнано связывать имя Д. К. Чернова с новым возникшим, благодаря его работам, учением о металлах и сплавах, называемым металлографией, и считать его, как это сделал в свое время известный американский металлург

H. M. Howe, **отцом металлографии**, настолько техника того времени и современная обязана ему своими преуспеяниями.

В самом деле до работ Д. К. Чернова термическая обработка стали представляла „темную и загадочную область, теперь же при свете искры знания, похищенной Д. К. Черновым с неба“, как выразился проф. А. А. Байков, всякий металлург может с успехом готовить превосходные стальные изделия.

Проследим же шаг за шагом по напечатанным трудам Д. К. Чернова и отдельным имеющимся сведениям, что дал Д. К. в области артиллерийской техники.

Первым своим докладом Р. Т. О. в 1868 г. Д. К. Чернов, установив значение критических точек (a) и (b) для тепловой обработки стали, дал детальные указания, как надо ковать орудийную болванку, чтобы она получила аморфную структуру. Таким образом Д. К. рекомендует не только обращать внимание на температуру, но все время говорит и о структуре металла, что в высшей степени ценно в практике изготовления орудий.

Нагрев выше точки (b) при ковке служит только для скорейшего изменения формы болванки при ударах молотом, кончать же ковку непременно надо при температуре близкой к (b), чтобы получить аморфную или мелкокристаллическую структуру.

На ковку ниже точки (b) Д. К. смотрит, как на наклепку. Пережоги, перегревы металла и то, что мы теперь называем „усталостью“ металла, или перекристаллизацией его в крупное зерно от службы изделия, его сотрясений и ударов, Д. К. Чернов рекомендует, и это мы теперь отлично знаем, исправлять нагревом выше точки (b), конечно, своей для каждого сорта, немного ее перейдя, и затем быстро охладив ниже (b) вести дальнейшее охлаждение замедленно, чтобы не создать в металле вредных напряжений.

Для термической же обработки или закалки рассверленной орудийной болванки или трубы Д. К. точно, с иллюстрацией чертежами, дает все нужные для практики указания.

В особо устроенной печи орудийная болванка нагревалась до температуры немного выше точки (b) или красного каления; по вынутии из печи пушечная труба опускалась в железный резервуар, наполненный льняным маслом и заключенный в другой резервуар с циркулирующей в нем холодной водой; в масле орудие оставалось не более $^1/_2$ минуты, чтобы его сильно не закалить, а только перевести за точку (b) и задержать в стали аморфное состояние, так что болванка выходила из масла темнобурого цвета, засыпалась песком и медленно охлаждалась, так как ниже температуры (b) сталь уже не меняет своего сложения.

Я прошу обратить особое внимание на вышеописанный метод Д. К. Чернова термической обработки орудийной болванки, всюду

им проводимой и для других изделий: здесь мы видим не просто закалку, фиксирующую состояние металла при нагреве, немного перейдя точку (*b*), а и последующий отпуск или отжиг от бурого цвета нагрева до обыкновенной температуры, при котором устанавливается, как мы это понимаем теперь, сорбитовая структура, наиболее желаемая для такого ответственного материала, как орудийная сталь, и кроме того при таком способе ведения операции не приходится опасаться за появление вредных напряжений, влияющих на прочность орудия.

Понятно насколько повысились качества орудийной стали при ковке и термической обработке по вышеуказанным принципам Д. К. Чернова, научно обоснованным и опытом поверенным, что и было отмечено на страницах описания работ на Обуховском заводе за 1870 г. в особо изданной книге „История Обуховского сталелилитейного завода, в связи с прогрессом артиллерийской техники“, изд. 1903 г.

Метод термической обработки стали, кроме научности своей постановки, оказался столь жизненным, что нашел себе применение и для обработки осей. Так называемый, процесс Coffin'a для выработки осей, публикуемый в 80-х годах прошлого столетия, основан на фактах, давно известных и открытых Д. К. Черновым еще в 1868 г.

Кроме закалки орудийной стали артиллерийская техника требовала и других приложений принципа Д. К. Чернова; напр., в таком ответственном деле, как изготовление ствольных болванок для перевооружения армии новым магазинным огнестрельным оружием—3 лин. винтовкой обр. 1891 г., а впоследствии и для изготовления пулеметных стволов к 3 лин. же пулемету системы Максима.

И вот мы видим на Ижорском Сталеделательном заводе установку закалки 3-х лин. стволов, выдерживающих при настоящем новом патроне с остроконечной пулей давление до 3.400 атмосфер.

Как же велась эта закалка? На черно рассверленная ствольная болванка сначмла подогревается в ванне с расплавленным свинцом до температуры не выше (*a*) Д. К. Чернова, при которой она может без вреда для своей структуры оставаться хотя бы и долгое время, быстро переносится в свинцовую же ванну с нагревом немного выше точки (*b*) для ствольной стали с содержанием углерода 0,4 — 0,5%, и затем на специальном приборе с пуском льняного масла под давлением через канал ствола этот последний спокойно остывает.

Это тот же принцип термической обработки стали Д. К. Чернова, талантливо проведенный в жизнь учениками Д. К. Чернова—Э. Гермониусом и А. Дубницким.

Здесь так же, как и при закалке орудийной стали, происходит быстрое охлаждение металла ниже точки (*b*), а затем идет замедленное остывание, сообщающее готовой ствольной болванке внутри

тросто-сорбитовую или сорбитовую структуру, необходимую в тонкой корочке канала ствола, — как закаленную часть металла, противостоящую износу канала пулей в готовом стволе, и сравнительно мягкую остальную толщу металла, лишенную вредных напряжений.

При строгом соблюдении принципов закалки ствольной стали так, как учил Д. К. Чернов, для всякой термической обработки стальных изделий, несущих ответственную службу без вреда для прочности, Ижевская ствольная сталь славилась своими качествами, и случаев разрыва стволов на пороховой пробе усиленным давлением до $4^1/_2$ тысяч атмосфер насчитывалось не более 0,0024%.

Разрывы стволов на службе в войсках были, как исключительные случаи, и все-таки их скорее надо было отнести к неправильному обращению с оружием, чем к недоброкачественности ствольного материала.

В своем докладе 1868 г. Р. Т. О. там, где Д. К. переходит к изложению своих исследований о стали и стальных орудиях, он прежде всего начинает с характеристики углеродистой стали, как соединения железа с углеродом и при том чистого, не загрязненного, без толку, посторонними примесями и тем более вредными, каковы сера и фосфор: так в смысле чистоты материала и оценивал Д. К. достоинства булатной стали и говорил, что самая лучшая сталь, какую когда-либо делали, — без сомнения, „булат“.

Работы Д. К. Чернова по изучению булата и булатной стали, и собранная им по этому случаю замечательная коллекция восточного оружия пользуются большой известностью и подробно описаны одним из талантливейших учеников Д. К. Чернова Н. Т. Беляевым в его трудах за 1906 г., под заглавием „О булатах“; „Описание коллекции восточного оружия Д. К. Чернова“. Этот взгляд Д. К. Чернова на холодное оружие — со стороны качеств булатной стали не мог остаться незамеченным, и исследования Аносова и Чернова сказались в работах Златоустовского завода, всегда славившегося чистотой своей стали и готовившего для нужд русской армии прекрасное холодное оружие.

Надо только удивляться, как интеллигентная русская военная молодежь мало интересовалась выдающимися успехами русской военной техники и, когда надо было приобрести элегантное и тем более боевое оружие, обращала свои взоры на за-граничные фабрикаты — в частности немецкой фабрики в Золингене, забывая свой русский Златоуст.

Сообщение, прочитанное Д. К. Черновым в Р. Т. О. в 1878 г. под заглавием „Исследования, относящиеся до структуры литых стальных болванок“, пользующееся не меньшей всесветной известностью, чем доклад 1868 г., имело для артиллерийской техники громадное значение и с научной стороны рельефно освещен в работе

Н. Т. Беляева за 1909 г.: „Кристаллизация, структура и свойства стали при медленном охлаждении".

Особенно ценным в практическом отношении является указание Д. К. Чернова, что „для придания отлитой стали наилучшей структуры и желаемых механических качеств, достаточно подвергнуть ее отжиганию, соединенному с более или менее быстрым охлаждением и отпусканием".

Отдавая должное общеустановленным мерам в отношении беспузыристости стальных литых болванок, Д. К. обращает особое внимание при отливке стальных изделий на удаление усадочной рыхлости и грануляций.

Чистота металла по составу и его чистота от посторонних включений и тем более настоятельное требование, высказываемое Д. К. Черновым об удалении усадочной рыхлости, настолько необходимы в практике изготовления ответственных по службе артиллерийских изделий, особенно орудийных труб и стволов ручного огнестрельного оружия, что об этом не надо забывать и в настоящее время при недостатке чистых материалов, трудности в постановке тщательной работы, надо на это обращать внимание.

Между тем заветы Д. К. Чернова теперь забываются; считая излишне строгим такое отношение к качеству металла и допустив загрязненность, напр., ствольного металла вредными примесями, забыв об удалении усадочной рыхлости, около которой всегда имеют место ликвация, включения сульфидов, ищут причин разрыва и трещин в ружейных стволах, каковые, конечно, не допустимы, и они не имели-бы место, если-бы помнили, как часто Д. К. на своих лекциях и докладах объяснял значение чистоты металла. В выше перечисленных своих первых работах Д. К. Чернов установил, что требуется для получения здорового металла и как его надо готовить, не забыл и того, что надо металл поставить в благоприятные условия несения службы будь то орудийный металл или идущий на ручное огнестрельное оружие: в металле надо знать возможное выявление вредных напряжений, существование коих часто может служить причиной гибели изделия. И вот в 1884 г. на докладе Р. Т. О. Д. К. Чернов делится своими „обобщениями по поводу некоторых новых наблюдений при обработке стали". Как известно в 1880 г. Д. К. Чернов покидает Обуховский завод и в упоминаемом сейчас докладе так объясняет свой уход.

„Среди моих приготовлений" (к изучению внутренних напряжений в стали), так говорит Д. К. Чернов, „я должен был уступить грубой силе обстоятельств и покинуть не только мои занятия на Обуховском заводе, но и вообще стальное дело".

Как мы знаем, этот прискорбный факт—лишения Д. К. Чернова возможности продолжать его необходимые для успеха сталелитей-

ного дела работы — не уменьшил в нем его энергии, — он поехал на юг, и там его творческая деятельность вылилась в области горного промысла, в инициативе и создании крупного каменно-соляного дела.

С возвращением в Петербург в 1884 г. внимание Д. К. Чернова снова привлекает любимое стальное дело и прежде всего со стороны артиллерийской техники.

„При изготовлении орудий больших калибров“, говорит Д. К. Чернов, „мы остаемся в потемках относительно того, какими волнами распределяется сжатие в стволе, как оно отражается на его прочности, не производит ли оно условий образования рода плоскостей слабости, по которым ранее всего образуются трещины в стволах больших орудий после небольшого числа выстрелов, хотя металл сам по себе и не оказывается дурным“.

„Для нашей артиллерии“, говорит далее Д. К. Чернов, „весьма важно-бы исследовать влияние скрепляющих колец на ствол орудия.

„Известно, что сечение ствола орудия, особенно больших калибров, составляет небольшую долю суммы сечений стягивающих его колец. Несмотря на приложение весьма изящных формул к определению сжатия ствола каждым рядом колец, мы остаемся в неведении относительно распределения напряжений в стволе.

„Все предъидущие опыты показывают, что напряжения как в стекле, так и в стали не имеют постепенной непрерывности, как это предполагается в формулах, а распределяются волнами, образуя ряд складок или морщин на соответственной поверхности“.

На лекциях по сталелитейному делу, читавшихся Д. К. Черновым с 1889 г. в Артиллерийской Академии, в записках по лекциям Д. К. посвящает отдельную главу вопросу о напряжениях в стали, озаглавленную им: „Явления, сопровождающие обработку стали в холодном виде“.

Почин Д. К. Чернова по изучению распределения напряжений в стали в разных ее артиллерийских конструкциях — орудиях, лафетах, осях и пр.—не остался забытым и при помощи поляризационных аппаратов на моделях, соответствующих чертежу изделий, определяется характер и распределение напряжений: модели должны быть изготовленными из прозрачных для света сред, преимущественно целлюлоида.

Приходится только пожалеть, что не производятся в широком масштабе опыты над стальными кольцами так, как их мыслил себе Д. К. Чернов: „отполировав канал и срезы колец, надевать на них скрепляющие кольца с таким натяжением, с каким они надеваются на соответственный ствол орудия, тогда отполирование поверхности прямо нарисует то, что делается со стволом и кольцами при сильном стягивании“.

Вскоре за указанным докладом Р. Т. О. в 1885 г. Д. К. там же делает сообщение „о приготовлении стальных броне-пробивающих снарядов“.

Интересно обратить внимание, как Д. К., разрешив один из важнейших для артиллерийской техники вопросов, переходит к решению следующего не менее важного по своему значению.

В самом деле изготовление бронепробивающих снарядов в то время, да и сейчас представляет из себя одну из труднейших задач для успешного ее разрешения.

В начале своего доклада Д. К. говорит, что он желал бы „в сегодняшнем сообщении изложить результаты последних работ в этой новой для нас отрасли сталелитейного дела“. Д. К. здесь, как и при решении других технических задач, ссылается на заграницу и в данном случае, конечно, на завод Круппа, услугами которого мы пользовались в смысле обеспечения бронепробивающими снарядами с 1881 г.

Недостигаемыми качествами 11-ти дюймовых снарядов Круппа считалась их прочность при ударе в $15^1/_2$ дюймов плиту под углом в $25^0/_0$ с расстояния в 50 саж.

Д. К. говорит, что, приступая к делу изготовления бронепробивающих снарядов на Обуховском заводе, он застал такое положение, что при всевозможных способах добиться хороших результатов, получались одни неудачи, и разобраться в их причинах, благодаря отсутствию исследований и ситематических опытов, не представлялось возможности.

„Никаких руководящих мыслей, никаких предположений относительно производства бронепробивающих снарядов никем не высказывалось открыто — все было покрыто непроницаемой тайной— это одинаково относится и до иностранной литературы, нигде не появлялось исследований совокупности условий, сопровождающих приготовление стальных снарядов: таким образом, приходилось начинать все снова“.

Как же поступает Д. К. при решении этого осложненного неудачами вопроса?

Он производит параллельные испытания снарядов Круппа и Обуховских по их механическим и химическим качествам, а главное по распределению интенсивности закалки в разных частях снарядов и приходит к следующим выводам.

„Весь секрет изготовления крупповских снарядов заключается в том, что там тонкая твердая оболочка искусно и прочно соединена с сравнительно мягким телом снаряда: трещины на оболочке не распространяются насквозь по телу снаряда, и он при ударе в броню не разлетается в куски“.

Сорт стали, шедший у Круппа на изготовление бронебойных снарядов, был с содержанием углерода 0,79%, а на Обуховском заводе применяли сталь с содержанием углерода 0,84%—это, распространенная и по сейчас на холодное оружие и пружины, сталь.

Говоря о механических качествах термически обработанного металла снаряда завода Круппа, Д. К. впервые в русской литературе подчеркивает значение величины съужения в шейке бруска при разрыве, характеризующее пластичность материала: величина съужения доходила до 41% при пределе упругости в 122 к. на кв. м/м и сопротивлении разрыву 145 к. на кв. м/м.

Впоследствии на величину сжатия в шейке бруска при разрыве было обращено большое внимание, и этому фактору механических свойств, особенно в специальных сортах стали, термически обработанных, уделялось большое внимание: даже удлинение подсчитывалось по методу М. Н. Коробкова, выраженное в величине съужения.

Значение удлинения при разрыве как-бы отошло на второй план: в самом деле ценным качеством термически обработанного металла является вовсе не общая его тягучесть, а именно, местная, там, где происходит наиболее резко выраженная деформация.

И действительно теперь качества металла доводятся от величины съужения в шейке разорванного бруска до 70%, при условии соответствующих его состава и термической обработки.

Разбираемый доклад Д. К. Чернова является настолько поучительным во всех его отношениях для изучающего или знакомящегося с условиями термической обработки простой углеродистой стали или специальной, что я рекомендую познакомиться с ним во всех деталях, так как здесь все предусмотрено, что требуется при организации и выполнении закалки, отпуска и оценки качеств полученного металла.

Д. К. Чернов учитывает три элемента закалки: пределы температур нагрева и охлаждения, предел скоростей охлаждения и величину и направление изменений объема стали при закалке.

При нагреве ниже (*a*) по шкале Д. К. Чернова сталь не закаливается и в некоторых случаях даже при быстром охлаждении становится мягче, следовательно, температура составляет один из существенных элементов закалки. Высота температуры (*a*), будучи переменной для различных сортов стали, смотря по содержанию углерода, может быть обозначена цифрой только приблизительно, а именно, для инструментальной стали ее можно считать около 700—750° С.

С другой стороны, температура, до которой непременно нужно спуститься при быстром охлаждении стали для закалки, является также по теории Д. К. Чернова величиной определенной (*d*) по шкале

температур, выражаемой в цифрах около 200° С. (точка „e“ 400° и „d“—200°). Таким образом, полная закалка может свершиться только при быстром понижении температуры нагрева стали от высшей (a) до низшей 200° или (d).

Эта последняя температура может быть определена из тех соображений, что готовая закаленная сталь, нагреваемая до температур низших 200°, не показывает заметных изменений в своих свойствах.

Изменение начинается с появленисм радуги цветов побежалости—от желтой побежалости (при 220°—265) до пурпурового цвета окисла, сменяемого голубым, синим, темно синим, водянисто зеленым, и наконец при 340—345° первая радуга цветов прекращается, появляется поверхность чистого металлического цвета с сероватым оттенком. При дальнейшем повышении температуры появляется вторая радуга, но заключающаяся в более тесных пределах температур, чем при первой. При исчезновении второй радуги наступает образование некоторой пленки и окалины.

На практике замечено, что сталь получает закалку после нагрева при погружении только в холодную воду, и по мере того, как вода берется все более теплой, и наконец при температуре ее кипения закалка прекращается.

Д. К. обращает внимание, что здесь имеет значение не абсолютная величина нагрева, а вступает в свои права другой элемент закалки—скорость охлаждения или время, в течение которого температура стали понижается от (a) до 200°.

Что это так, Д. К. приводит пример закалки стали в расплавленном сплаве свинца с оловом (темпер. плавл. 184°), нагретом до 200°, где при движении охлаждаемого куска металла в ванне из сплава получается закалка, не уступающая по своей интенсивности такой охлаждающей среде, как принятая в практике холодная вода.

Скорость охлаждения в какой-либо жидкости зависит от многих обстоятельств, из которых надо напомнить о величине охлаждаемой массы металла, о подвижности жидкости, о ее теплоемкости, теплопроводности, температуры, высоты точки кипения, времени, в течение которого охлаждаемый предмет находится в жидкости в спокойном ли состоянии или в состоянии подвижности и проч.

Для получения хорошей закалки требуется определенное время охлаждения, не превышающее 4—5 сек., и излишнее промедление часто влечет за собой полную неудачу операций закалки, поэтому понятно, какие желательно иметь от закальщика ловкость и сноровку, иначе сказать искусство.

Изменение объема от закалки Д. К. подтверждает целым рядом опытов, имевших место и им произведенных, устанавливающих несомненно, по крайней мере, увеличение длины бруска от закалки:

Д. К. Чернов, ссылаясь на исследования Абеля, говорит и о тех изменениях, какие претерпевает углерод в стали при явлении закалки, и мы знаем насколько последующими исследованиями проф. Неуп'а, директора металлографического отдела лаборатории проф. Мартенса в Берлине, эти факты перехода углерода не только от отжига при температуре 700°, но и при температурах отпуска, становятся очевидными, соответствуя определенной структуре стали.

После теоретических обоснований, предпосланных Д. К. к его способу закалки снарядов, посмотрим, как он представлял себе эту операцию.

Нагрев снаряда перед закалкой, по данным Д. К. Чернова, должен быть однородным во всех местах снаряда во избежание неправильного распределения напряжений.

Принимая во внимание очертание снаряда и, следовательно, распределение масс металла в разных частях снаряда, необходим умеренный приток теплоты, иначе сравнительно тонкие стенки снаряда в цилиндрической его части и в вершине могут перегреться перед закалкой.

В тоже время не надо забывать, что при медленном нагревании происходит большое наростание окалины, дурно проводящей теплоту и мешающей закалке.

Д. К. Чернов рекомендует устройство особой печи для нагрева снаряда с расчетом на замедление притока теплоты и предохранение снаряда от окалины: это своего рода горн, в который вставляется горшок, засыпаемый углем между его стенками и дном, куда и вставляется снаряд.

Для охлаждения Д. К. советует прибегнуть к комбинации из двух ванн—холодной и горячей, при чем первая представляет из себя или водяной бак, или водяной спрыск, а вторая сплав олова со свинцом с точкой плавления 184°.

Снаряд после нагрева погружается или в водяную баню, или ставится под водяной спрыск, приспособленный для пуска воды струями в определенные части снаряда—наружные и внутренние.

При опускании снаряда вершиной в водяную ванну ему сообщается движение вверх и вниз с упором головки в насыпанный на дно уголь с тем, чтобы избежать сильной закалки снаряда к дну и в головке.

Опускание повторяют несколько раз по мере надобности, в течение 2—3 минут.

Дальнейшее охлаждение снаряда или его отпускание производится в металлической оловянно-свинцовой ванне в течение 8—10 мин. при температуре от 185—240°.

Наконец, снаряд зарывается в теплую сухую золу и там медленно остывает.

Продолжительное пребывание снаряда при температурах близких к 230—240° и самое медленное его охлаждение около суток в золе ведет к возможно полному уничтожению или к крайнему уменьшению внутренних частичных напряжений в металле.

Д. К. Чернов так заканчивает свой доклад „О приготовлении стальных бронепробивающих снарядов“: „имея в руках все способы действовать охлаждающими струями воды по произволу на какие угодно точки наружной и внутренней поверхности снаряда и зная условия, при которых можно получить желаемую глубину закалки и при том желаемых качеств в виде простой или двойной корки, усиливая закалку в одной части и ослабляя в другой, подвергая закаленные части большему или меньшему отпусканию и ослабляя до крайней степени внутренние частичные напряжения в снаряде, легко выработать все наивыгоднейшие элементы закалки для каждого калибра“.

В своих записках к лекциям, читанным в Артиллерийской Академии, „Сталелитейное дело“, Д. К. Чернов вслед за рассмотрением изготовления бронепробивающих снарядов рассматривает и устройство „броневой одежды судов“.

В своих работах и докладах об изготовлении брони К. Д. не говорит подробно, но насколько Д. К. интересовался этим вопросом и был осведомлен в нем, свидетельствует архив записей, писем и др. документов, оставшихся после его смерти и переданных семьей Д. К. в дар Русскому Металлургическому Обществу.

Для полноты картины значения деятельности Д. К. Чернова в области артиллерийского дела нельзя пройти молчанием и эти неизданные по броневому делу документы.

Ижорский завод, готовивший броневые плиты, так приветствовал Д. К. в день 75 лет. годовщины его жизни.

„Ижорский завод, широко пользуясь открытыми Вами принципами термической обработки в ответственном броневом производстве, приветствует Вас в этот знаменательный день и гордится, что за Ваши заслуги не только Россия, но и весь мир признали Вас, как великого русского ученого и как вдохновенного заводского практика, сумевшего простым невооруженным глазом проникнуть в таинственную и загадочную жизнь металлов и этим положить начало новой эре в области металлургии“.

Фабрикация броневых плит на заводе Круппа была описана в Revue de Metallurgie в Апр. м. 1910 г. и почти в тех же данных, какие имеются по записи в документах Д. К. Чернова за 1902 г.: вот насколько Д. К. следил за вопросом и насколько он был—осведомлен.

Заметки Д. К. были в связи с запросом ему о причинах трещин в бронях после их обработки нагревом при 650° и охлаждения.

Сталь, шедшая на брони была хромо-никкелевая (C = 0,3—0,35% Mn = 0,25—0,5; Si = 0,15—0,2% и даже до 0,07%; Cr 1,5—2% и Ni = 4%).

После отливки болванки броневой стали через 2 часа поступают в молотовую, подогреваются и обжимаются под жомом в надлежащую толщину, куются, пока берет пресс до температуры 700—600°. Затем после остывания снова подогреваются до 650° и охлаждаются в воде, металл при этом получает волокнистое сложение.

После такой обработки броня поступает на станки для обрезки, иначе она отличалась бы большой твердостью.

После грубой обрезки броневые плиты идут на цементацию в специальных печах при помощи светильного газа с присыпкой углем. Нагрев при цементации постепенно повышается с 200° и до 900—950°.

Слой цементации в течение 18—30 дней обработки образуется на 25 м/м. (твердость по Бринеллю 362).

После цементации и охлаждения, плита подвергается специальной термической обработке для улучшения структуры металла или исправления зерна (эта операция называется Vergütung): нагрев берется выше точки (*b*) для этого сорта стали (800°—850°), и после нагрева плита опускается в оливковое или репное масло для охлаждения до 300° C. (тверд. Брин. 578).

Для подготовки к вторичной обрезке и уничтожения вредных натяжений металл нагревается до 650° и охлаждается в воде. Излом после всех перечисленных операций должен быть аморфный, и плита готова для придания ей окончательной закалки. Для этого плита кладется на толстый слой песка, верхняя ее часть прогревается в печи, нагретой до 1000° так, чтобы прогрев шел на всю толщину слоя цементации и даже до 60 м/м. в глубину и закончился по времени в течение одного часа.

Охлаждение лицевой части плиты со стороны слоя цементации производится при помощи поливки водяной струей: закалка получается очень интенсивной, принимая во внимание степень цементации до 1,25% C (углерода) с поверхности плиты (тверд. Брин. с поверх. 611; в незакал. части. 285).

На Обуховском заводе с 1894 г. был установлен способ изготовления плит А. А. Ржешоторским, а в 1898 г. морское ведомство приобрело от Круппа право изготовления на казенных заводах броневых плит по его, Круппа, способу — на Ижорском и Обуховском заводах, а равно Крупп должен был сообщать морскому ведомству о всех выработанных улучшениях в броневом производстве.

Между тем при начале производства, как было выше сказано, обнаружились при обрезке плит трещины; число брака доходило до

$20^0/_0$ и даже до $70^0/_0$. Был приглашен от Круппа инженер, объяснявший происхождение трещин, то от состава стали, то от способа ее выделки, но очевидно корень зла был в неправильно веденной термической обработке, в результате чего появлялись скрытые внутренние напряжения, при механическом воздействии — обрезке, — вызывавшие трещины в плите. К Д. К. Чернову этот вопрос поступил на консультацию для разъяснения и практических указаний: по имеющимся сведениям им были даны разъяснения в устранение получавшегося брака, и дело наладилось.

С 1889 г. Д. К. Чернов, во всеоружии научной и практической подготовки по сталелитейному делу, вступает в ряды професоров Артиллерийской Академии: кому, как не Д. К., было занять эту ответственную и важнейшую для технической подготовки артиллерийских офицеров кафедру металлургии стали и затем в течение более четверти века держать ее на высоте и уровне современного состояния техники и науки.

Оставив в 1880 г. Обуховский завод, Д. К. Чернов, как мы видели, не мог отойти от любимого дела, его внимание все время привлекали разные вопросы артиллерийской техники, и ему ближе всего было поделиться своими знаниями с теми, кто отдавал себя на служение артиллерийскому делу в разных его приложениях.

Французский академик Le Chatelier в Revue de Metallurgie, Novemb. 1909 № 11, по поводу 70-лет. годовщины Д. К Чернова говорит, что Д. К., как профессор, своим преподаванием создал целую плеяду офицеров и инженеров, преданных металлургии, и что все работы в этой области ведут свое начало от открытий, исполненных Д. К.

Действительно Д. К. создал целую школу своих учеников, нашедших богатое приложение полученных им знаний на практике.

Всегда увлекательные лекции Д. К. Чернова, развертывавшие перед слушателями широкие научные горизонты не только в технике металлургии, но и в других соприкасающихся с нею отделах технологии и естествознания, оставляли у слушателей неизгладимое на всю жизнь впечатление и указывали им верные пути для дальнейшего развития и усовершенствования артиллерийской техники в практическом ее приложении. Д. К. не терял связи с своими учениками и по их выходе из Артиллерийской Академии, будучи на редкость любезным и отзывчивым человеком: стоило Д. К. Чернову написать письмо с каким-либо запросом и просьбой в указании литературы по интересующему вопросу, а тем более какого-либо совета, как немедленно получался ответ с исчерпывающими разъяснениями по запросу, часто с эскизными чертежами.

Мало того, в случае какой-либо новой установки, конструирования прибора, выработки метода испытания Д. К. не ограничивался ответом, а всегда интересовался достигнутыми результатами, знако-

мился с печатными трудами своих учеников, говорил о них на своих лекциях, рекомендовал, кому следовало. Такое отношение Д. К. Чернова к своим ученикам делало его настолько популярным, что большая часть выпусков из Артиллерийской Академии считали своим приятным долгом сняться с любимым учителем в группе и потом, где-нибудь в глуши на своей службе, показывать портрет любимого профессора и толковать с увлечением о его замечательных трудах и открытиях. А стоило кому-нибудь из учеников Д. К. приехать в Петроград из провинции, как являлось непременное желание посетить своего бывшего учителя, поговорить с ним на любимые темы, спросить совета, поделиться своими успехами и неудачами.

Многие помнят в Петрограде на Песочной улице (д. № 25), дом Д. К. Чернова с виду как будто не приветливый, но стоило проникнуть за калитку ворот этого дома, как вы попадали в атмосферу привета и внимания со стороны домохозяина и пользовались широким гостеприимством и лаской со стороны членов семьи Д. К. Чернова.

Скажу про себя лично: по окончании Артиллерийской Академии судьба меня закинула на Тульский Оружейный завод после 1892 г., когда начиналось перевооружение русской армии новым магазинным оружием, возникало в связи с его массовым производством много вопросов по выбору металла, его тепловой обработки и испытания ружейных частей в их готовом виде, и понятно для пользы дела хотелось слышать голос авторитетного учителя, знатока металлургии стали и ее обработки, и Д. К. каждый раз давал ценнейшие указания в своих письмах и личных с ним сношениях.

Так мной были получены указания о способах закалки ружейных частей по принципу Д. К. Чернова, о их пробе на магнитных весах системы проф. Юза и многое другое. Часть писем Д. К. Чернов ко мне по их интересу и значению для техники передана мной Русс. Металлург. Обществу в Петрограде для присоединения к архиву документов Д. К.

Мной были выпущены печатные труды по закалке ружейных частей 3-х лин. винтовки, была установлена и описана электромагнитная проба закалки ружейных и пулеметных частей, бронебойных снарядов, ружейных стволов и пр. изделий, напечатана книга по испытанию материалов в артиллерии, изданы работы по микроанализу латуни и стали и проч.

Все эти работы не проходили без внимания Д. К. Чернова, он ими интересовался, делал свои замечания и давал по ним полезные указания.

Также многие из учеников Д. К. Чернова отлично знают насколько он интересовался работами Н. Т. Беляева, А. Г. Дубницкого, Э. К. Гермониуса и многих других из его учеников, не терявших с ним контакта. Стараясь принести пользу Родине

в деле совершенствования артиллерийской техники непосредственно или через своих учеников, Д. К., как знаток дела, понимал, что и хорошего качества пушки, и ружейные стволы несут свою тяжелую службу часто в неблагоприятных условиях обращения, порчи, износа от времени и проч.

Надо их беречь, сохранить на больший срок службы, а для этого необходимо было изучить, что их больше всего губит, и вот Д. К. из года в год на своих лекциях читал о разгорании каналов стальных орудий. С опытами по изучению разгорания каналов орудий мы в России значительно отстали, сравнительно с заграницей, но, конечно, в этом не было вины Д. К. Чернова.

Изучением явления разгорания металла канала орудий или каналов ружейных и пулеметных стволов от действия высокой температуры газов при горении или разложении порохового заряда интересовались, как при черном порохе, так и особенно интересуются теперь с увеличением силы порохов, величины или веса боевых зарядов, мощности орудий, их дальнобойности, большой скорострельности огнестрельного оружия и часто громадного количества выстрелов, приходящихся на ствол при современных условиях боя.

В тщательно изготовленных стволах современного огнестрельного оружия при принятых требованиях меткости стрельбы, канал ствола, будь то пушка, гаубица, мортира или пулеметный ствол, должен надолго сохранить неизменными свои точно установленные размеры, не меняя их от действия последовательно наростающего числа выстрелов при боевой и мирного времени службах орудия и пулемета.

В полевой 3-х дм. пушке замечаются при стрельбе уже после 1.200 выстрелов прорывы пороховых газов между снарядом и каналом орудия, в пулеметных стволах иногда приходится видеть самое резкое трещиновидное разгорание после 4.500 выстрелов, а есть экземпляры пулеметных стволов, выдержавших 30—40.000 выстрелов и даже более 70.000 выстрелов (при новом патроне с остроконечной пулей).

Чем больше калибр орудия, чем больше вес заряда, чем выше температура разложения пороха (температура разложения нитроглицеринового пороха около 3000°, черного, дымного пороха — около 2000°), тем сильнее сказывается на металл влияние высокой температуры разложения пороха.

Стволы современных гигантов дальнобойной артеллерии 100- и более километровой досягаемости снарядов, с весом зарядов более веса снаряда, насчитывают часто всего несколько десятков выстрелов своей жизни от сильной порчи металла раскаленными газами разложения пороха от его разгорания с поверхности до полной потери меткости орудия, и приходится или немедленно заменять

разгоревший ствол пушки новым, или сама пушка-гигант считается за негодностью и опасностью из нее действия вышедшей из строя обороны или нападения.

Целью изучения явления разгорания в каналах пушек или в стволах огнестрельного оружия представляется выяснение возможности увеличения срока службы оружия без ущерба для его боевых качеств.

Среди своего служения совершенствованию артиллерии в области металлургии, мог ли Д. К., знакомя каждый год своих учеников с вопросом о разгорании каналов орудий, не откликнуться на призыв со стороны артиллерийского ведомства, решившего в 1912 г. вплотную приняться за постановку серьезных опытов по выяснению причин различных сроков стойкости металла в условиях современной стрельбы из орудий.

В связи со многими работами учеников Д. К., появившимися в нашей технической литературе, наконец благодаря работам по вопросу о разгорании, докладывавшимся в Артиллерийском Комитете, около этого вопроса создалась в некотором роде благоприятная атмосфера, и при Артиллерийском Комитете с 1912 г. была образована „Комиссия по изучению выгорания каналов орудий", проработавшая до начала войны 1914 г.

К кому, как не Д. К. Чернову, надо было прежде всего обратиться за участием в работах Комиссии, Д. К. конечно, согласился участвовать в работах, но на-отрез отказался от председательствования в Комиссии, которое было ему предложено.

Д. К. принял самое живое, деятельное участие в делах Комиссии, внося в ее работы все свои знания, опыт, знакомя с результатами своих исследований, наблюдениями, предлагая свои методы испытания орудий на разгорание, представив свой проект пушки с лейнерами из разных изучаемых сортов стали, торопил со скорейшей организацией постановки широких опытов по намеченной для Комиссии программе: все перипетии работ Комиссии можно видеть в 13 изданных ей журналах заседаний.

Для характеристики отношения Д. К. к работам Комиссии нельзя не привести хотя бы в виде выдержки из письма Д. К. на имя председателя Комиссии, где Д. К. ясно высказывал свое недовольство в задержке отпуска средств на опыты и на происходящие из-за того задержки в деятельности Комиссии (письмо Д. К. Чернова от 14 дек 1912 г.).

„В первом же заседании Комиссии я заявил (пишет Д. К. Чернов), что если Артиллерийский Комитет считает вопрос о выгорании орудий важным, а личный состав Комиссии достаточно компетентным в предложенном к решению вопроса, то для успеха дела необходимо ассигновать потребный кредит на производство опытов

без скептического отношения к их целесообразности. Комитет может быть уверен, что понапрасну Комиссия денег тратить не станет. Мною тогда же было заявлено, что при ином отношении Комитета к Комиссии я откажусь от участия в работах последней, так как не привык топтаться на одном месте и проводить время только в разговорах. Если раз программа составлена, то надо ее выполнять, не теряя времени".

Станут понятными со стороны Д. К. столь горячо принимаемые им к сердцу отношения Комитета к делам Комиссии, если вспомнить, что Д. К. уже сделал свой известный доклад Русскому Металл. Обществу 10 мая 1912 г., озаглавленный им „О выгорании каналов в стальных орудиях", изданный им на русском языке и переданный для ознакомления с ним как членам Комиссии, так и членам Артиллерийского Комитета.

Этот доклад был напечатан в 1912 г. в „Артлилерийском журнале" № 7, в Revue d' Artillerie в 1914 г., в феврале месяце, и в Kriegstechnische Zeitschrift в 1913 г.

Прежде, чем перейти к изложению сути этого замечательного доклада Д. К. Чернова, позволю себе привести общую характеристику вопроса о разгорании каналов орудий, делаемую учеником Д. К. Чернова, В. М. Трофимовым, председателем Комиссии особых артиллерийских опытов.

Разгаром В. М Трофимов называет изменения на поверхности канала орудия, производимые действием порохового газа высокой температуры (из доклада В. М. Трофимова в 1919 г.).

В отличие от него изменения в размерах нарезной части канала, производимые реактивным действием, В. М. называет износом.

Действие газа В. М. признает двоякое:

1) термическое, не зависящее от того, находится ли газ в покое или в движении (теория Чернова) и 2) динамическое, связанное со скоростью газа (теория Вьелля) и связанное с изменением сечения струи и направления струек (теория Шарбонье).

Наблюдения за разгаром у нас и за границей приводят к заключению, что необходимыми и достаточными условиями являются: сильное и достаточно продолжительное нагревание тонкого слоя металла (в сотых долях миллиметра от поверхности вглубь) на поверхности канала и движение газа поверх этой поверхности.

Таким образом, по мнению В. М. Трофимова, обе теории Чернова-Вьелля друг друга дополняют.

Для подобных орудий разгар является пропорциональным квадрату калибра, и наибольшая его величина оказывается в том месте канала, где изменение скорости снаряда наибольшее, и вообще разгар будет тем меньше, чем плавнее изменяется скорость снаряда в канале орудия, т.-е. чем прогрессивнее порох.

Для 3-х дм. полевой пушки по формуле В. М. Трофимова наибольшая величина разгара придется на длине около 3-х калибров, как оно наблюдается и на практике, тогда как место наибольшего давления приходится на длине 4-х калибров.

Доклад В. М. Трофимова о разгаре орудий, в котором он высказывает выше приведенные положения относится к 1919 г.

Посмотрим, как исследования Д. К. Чернова, изложенные им в 1912 г., его теория разгара, отвечают позднейшим данным по этому вопросу.

Д. К. Чернов начинает свой доклад „О выгорании каналов в стальных орудиях“ с обзора иностранной литературы по этому вопросу и приходит к заключению, что неисследованным фактором в явлении разгорания надо считать те физико-геометрические изменения, какие имеют место при действии выстрела на поверхности металла в условиях быстрого нагрева металла газами высокой температуры в продолжение десятых секунды и последующего за ним охлаждения с поверхности канала по вылете снаряда из орудия.

Д. К. прилагает к своему докладу великолепно исполненные им фотографии канала разгоревшей 3-х дм. полевой пушки и исполненные им от руки эскизные рисунки тех предполагаемых физико-геометрических изменений, какие по теории Д. К. происходят в слое металла канала орудия.

Первые признаки выгорания в орудии обозначаются появлением матовых пятен на полированной поверхности канала, преимущественно в зарядной камере на верхней половине ее окружности, близ ската и на самом скате в начале нарезов.

Внимательное рассмотрение гутаперчевых слепков с этих мест показывает, что мат зависит от появления сетки из образующихся в металле чрезвычайно тонких, очень не глубоких трещинок.

Обыкновенно вначале эта сетка начинающегося разгара не имеет законченных, сомкнутых петель, а представляет из себя только группы пересекающихся между собой отдельных веточек, разбросанных по разным направлениям.

По мере же повторения выстрелов отдельные трещинки удлиняются, встречаются с соседними и образуют замкнутые петли сплошной сетки. Величина таких петель и их рисунок вообще довольно разнообразны, в зависимости от калибра и длины орудия, формы нарезов, сорта пороха, структуры металла и т. п.; в каждом частном случае, для одного и того же орудия, рисунок имеет по всему протяжению соответственной части выгоревшего места в канале одинаковый характер.

Здесь нам рисует Д. К. картину разгорания в первых ее проявлениях чисто со стороны термического воздействия газов.

Но вслед затем мы видим, что наблюдения Д. К. Чернова не идут в разрез с динамической теорией движения газов Вьелля и соответствуют теории Шарбонье, считаясь с направлением и изменением сечения струй газов.

Так говорит Д. К. „при дальнейшем повторении выстрелов как глубина, так и ширина первоначальных трещинок увеличивается, при чем на скате каморы и в начале нарезов такое расширение и углубление в большей степени замечается в тех трещинах, расположение которых более или менее совпадает с направлением оси орудия, а, следовательно, и с направлением движения пороховых газов“.

Пороховые газы и несгоревшие частицы пороха, прорываясь в зазоры между снарядом и стенками канала, избирают путь наименьшего сопротивления и следуют по тем частям трещин, которые ближе подходят к направлению их движения.

Разгорание, говорит Д. К., по мере продолжения стрельбы распространяется в длину по нарезам, достигая на некоторой длине своего максимума и затем убывает, к дульной части почти исчезая.

Здесь Д. К. подчеркивает значение механического действия продуктов горения пороха, т.-е. натирание стенок канала продольными бороздами. На полях нарезов преобладают поперечные трещины, перпендикулярные к направлению нарезов.

Д. К. прибавляет, что к разрушительному механическому воздействию газов присоединяется затем еще и механическое действие снаряда, выражающееся при большой реакции ведущего пояска на металл канала по нарезам и полям, особенно при большом давлении на боевую грань нарезов, срывом частиц стали с ребер полей, который с увеличением числа выстрелов переходит в срыв целых участков полей нарезов.

Д. К. Чернов, как известно, не был чужд в своих объяснениях разгорания и, главным образом, в появлении твердой корочки разгара в указании причин ее образования на поверхности разгоревшего металла, кроме получающегося закала быстро нагреваемого металла выше точки (*b*) и такого же быстрого охлаждения и механического воздействия ведущего пояска, выражающегося наклепом особенно на боевой грани и вплоть до оставления снарядом канала орудия, т.-е. до конца дульной части. Последнее, как мы теперь знаем, соответствует новейшим теориям, из которых надо указать на теорию американского профессора Фея (1912 г.).

По теории Фея наклеп металла от движения снаряда или других причин способствует мартенситированию тонкой корочки металла при ее нагреве в условиях выстрела. Значит Фей также не отрицает доминирующего значения термического действия горячих газов большой плотности и высокой температуры при выстреле. Так

или иначе, но с металлом на поверхности канала на толщину в сотых миллиметра происходит поочередно — то нагрев до высокой температуры, то охлаждение, и здесь объяснения Д. К., при помощи его физико-геометрического метода, становятся очевидно наиболее отвечающими действительности.

Как же их представляет себе Д. К. Чернов?

Д. К. разделяет стенку орудия на отдельные клинообразные элементы, ограниченные поперечными (параллельными) и продольными (радиальными) плоскостями. Каждый из таких элементиков, если его представить себе свободным от связи с соседними элементами, будет при нагреве с поверхности расширяться свободно во все стороны — больше в нагреваемой части к поверхности нагрева и менее к телу орудия.

Не то произойдет, когда расширение от нагрева и охлаждение элементика будет происходить между другими такими же элементами. Разогретый сверху и стесненный соседством с рядом лежащими элементами, он в нагретой своей части должен принудительно спрессоваться и вытянуться кверху. Вследствие этого сжатия его верхний размер убавится, и возвращение к размеру нижней части при охлаждении в зависимости от пластичности материала даст больший или меньший надрыв—трещинку между смежными элементиками. В случае долевого расположения рассматриваемой группы элементов образование таких трещинок скажется не так резко, как в радиальном сечении: здесь, вследствие еще большего стеснения в направлении к центру при возвращении поверхностей элементов из состояния нагрева, расширения и спрессовки в размеры более широкие (при явлении последующего охлаждения) большого радиуса скорее можно ожидать разрыва или трещин; так оно в действительности происходит и при том, чем меньше калибр орудия или ствола, тем более вероятности при материале недостаточно пластичном получить картину разгорания трещиновидную.

Нарисовав картину тех физико-геометрических изменений на поверхности металла канала—стволов орудий, при условиях попеременного нагревания и охлаждения, неизбежно возникающих в условиях выстрела для каждого металла, можно только требовать от последнего наибольшей выносливости, т.-е. наибольшей пластичности и неизменяемости.

Д. К. с точки зрения динамики газов и образующихся по мере разгорания зазоров между снарядом и каналом орудия, говорит, что чем быстрее сменяется охлаждающийся около стенок газ свежим притоком горячих газов, тем острее его нагревающее действие.

„Наибольшая интенсивность передачи теплоты должна быть в том месте канала (наибольшая величина разгорания), где сложная функция F от температуры газов, их плотности, теплоемкости,

давления и скорости, выражающая интенсивность передачи теплоты телу орудия, будет иметь наибольшее значение. Каждое из входящих в эту функцию переменных может быть выражено в функции расстояния „X“ от начала или конца зарядной каморы, то поэтому Xmax — F покажет тот пояс, где будет для каждого частного случая место наибольшего развития сети трещин на стенках канала. Далее этого пояса интенсивность нагревания будет довольно быстро уменьшаться, вследствие понижения температуры газов от их расширения и от охлаждающего влияния более холодной дульной половины канала“.

Вот каким образом кончает Д. К. свои объяснения разгорания, и мы уже видели, что предсказанная им функция F найдена, и В. М. Трофимов нашел по выведенной им формуле для 3-х дм. полевой пушки местонахождение наибольшей величины разгорания (около 3 калибр.) и его распространение.

Преобладающего влияния механического действия газов и снаряда Д. К. не признает.

Главная основная причина зла, по мнению Д. К., лежит в высокой температуре горения пороха; понижение ее становится решительно необходимым.

„Задача химиков в этом вопросе сводится к отысканию такого состава пороха, при котором без ущерба его баллистическим качествам температура продуктов его газификации (или горения) по-возможности не превышала-бы 1000° С.

„С другой стороны задачей металлургов Д. К. ставит отыскание такого металла, который без ущерба его механическим качествам, обладал-бы возможно большею *пластичностью* и *вязкостью*, дабы при большом расширении и следующем затем большом сжатии не давал ни малейших следов трещин.

„Надо“, заканчивает Д. К. „выбрать стойкий против разгорания металл такой, при котором наибольшее расширение металла от нагревания при выстреле не выходило-бы за пределы его упругих деформаций“.

Не могу не остановить внимания читателя на значении в артиллерийской технике последнего печатного произведения Д. К. Чернова: „Письмо проф. Д. К. Чернова редактору Ж. Р. М. О.“ изд. 1916 г.

В этом письме, как выражается Д. К., он выступает на защиту своей „бедняги точки (b)“, около которой по разным от него независящим причинам возникли споры, вследствие малой распространенности литографированных записок-лекций по „Сталелитейному делу“, где Д. К. подробно трактует о существенной стороне явления перехода структуры стали из кристаллической в аморфную, при котором значение точки (b) выступает так обособленно.

Точка (*b*) Д. К. всегда определялась по превращению крупнокристаллической (физической) структуры в едва заметную мелкокристаллическую по излому или в аморфную структуру. С практической стороны это очень важное толкование, так как желательно недопускать вообще в стальных изделиях, особенно же в таких ответственных, как артиллерийские орудия, снаряды, брони и т. п. предметы, развития кристаллической структуры, а тем более крупнокристаллической. Идеальным строением в этом отношении представляется структура аморфная, сплошная однородная масса, молекулы или частицы которой все по отношению одна к другой находятся в одинаковых расстояниях и расположении.

Д. К. говорит: „при нагревании кристаллической массы стали весь ее структурный распорядок и группировка частиц и молекул постепенно сглаживаются, т. е. расстояние между более сближенными молекулами будут быстрее увеличиваться, нежели между менее сближенными, кристаллическая ориентировка будет все более и более стушевываться, и наконец при некоторой температуре совершенно исчезнет всякий след ее, все молекулы будут на равных расстояниях по всем направлениям, масса примет аморфное сложение. Вот этот момент и соответствующая ему температура и *есть точка* (*b*) *Чернова*".

Д. К. находит возможным установить некоторое условное примирение между точкой (*b*) Чернова и точкою A_3 Осмонда: если прямой переход при нагревании через точку (*b*) обозначать через $(+b)$, а обратный при охлаждении через $(-b)$, тогда: $Ac_3=(+b)$; $Ar_3=(-b)$; $A_3=b$.

Далее для нас имеет значение указание Д. К. на различие в понятиях физическая структура и химическая (металлографическая).

Характерной особенностью работ Д. К. надо считать самостоятельный путь, избираемый им в решении любого вопроса, тщательное его обследование как со стороны русской литературы, так и заграничной, без слепого преклонения перед за-границей и вообще западом. Я помню, когда в 1912 г. Д. К. был издан его доклад „О выгорании каналов стальных орудий" и распространен между лицами, заинтересованными в решении этого важного для артиллерии вопроса, в Россию приехал из Америки проф. Ачесон и предлагал для артиллерийского ведомства, как панацею от всех бед „разгорания", выработанный им молекулярный графит, с которым сейчас же были организованы опыты, и Ачесону было оказано исключительное внимание, автору же замечательного доклада „О выгорании", знаменитому русскому металлургу Д. К. Чернову, всемирно известному по своим работам, было уделено только вежливое внимание, и, как мы видели, ему пришлось выступить с письмом об ускорении отпуска средств на предложенные им испытания.

Д. К. был очень огорчен таким отношением, но не из личного самолюбия, а как самобытный русский человек, столько положивший труда в дело совершенствования русской техники.

Насколько Д. К. любил Россию и верил в ее мощность и великие судьбы, можно судить из того факта, что когда больному Чернову в Крыму предлагали англичане в его распоряжение миноносец, который благополучно доставил бы его в Англию и дал бы ему возможность оправиться от тяжелого недуга, русский великий человек Д. К. Чернов заявил, что жить ему по его возрасту осталось немного, и он не может покинуть родину и порвать связи со всеми членами многочисленной дорогой для него семьи и остался, чтобы умереть на родной земле.

Разве для нас, настоящего, и грядущего поколения не поучительна эта полная плодотворной деятельности долгая жизнь великого человека, любившего Россию и верившего в гений своего великого народа.

Последуем, хотя бы отчасти, великому примеру гениального русского ученого и техника, всю жизнь служившего интересам родной страны, и принесем свои силы и способности на дело совершенствования и поднятия русской металлургии, столько требующей сейчас свежих сил и неустанной работы.

Вот будет та достойная память творцу точек (*a*) и (*b*), отцу металлографии и достойнейшему из работников в деле усовершенствования в области артиллерии.

II.

ПОСМЕРТНЫЕ ПРОИЗВЕДЕНИЯ.

О ВЛИЯНИИ МЕХАНИЧЕСКОЙ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА СТАЛИ.

(Лекция Д. К. Чернова, читанная им в Инст. Инж. П. С. 28 янв. 1886 г.).

Программа лекции.

Цели обработки железа и стали:

I) Изменение размеров и формы с попутным изменением свойств металла.

II) Изменение свойств металла с сопровождающими изменениями формы.

I. Изменение формы:

а) С расплавлением, отливкою.	Расплавление и отливка в формы, причем изменение свойств достигается разнообразием охлаждения и прессованием жидкого металла.
б) Без расплавления, но при высокой температуре, с участием механических сил.	Нагревание. Ковка. Прокатка. Прессование.
в) Механическими силами без участия теплоты.	Протяжка в проволоку и наклепка.

II. Изменение свойств:

1) Нагревание с быстрым охлаждением (закалка).

2) Нагревание с медленным охлаждением (отпуск и отжигание).

Структура, плотность (уд. в.), магнитные свойства, электропроводность (а равно и теплопроводность); твердость, вязкость, хрупкость, эластичность, пластичность.

Мм. Гг.

Предмет сегодняшней лекции заключается в рассмотрении изменений, какие претерпевает железо в своих свойствах вследствие механической обработки. Механическую обработку мы будем рассматривать только такую, которая вызывает в данном куске металла перемещение частиц, а не ту механическую обработку, которая имеет предметом отделку поверхности, не изменяя взаимного расположения частиц в данном куске металла.

Механическая обработка, связанная с частичным перемещением, преследует двоякие цели: 1) или изменение формы куска или, 2) изменение только свойств металла в данном куске.

Обработка металла, соединенная с перемещением частиц, опять-таки совершается при помощи троякого рода приемов или операций: механическою силою при помощи теплоты, механическою силою без помощи теплоты, или только теплотою без помощи механической силы.

Вот эти три способа обработки мы рассмотрим в кратких чертах и посмотрим, какое влияние оказывает каждый раз каждая из таких обработок на качества обрабатываемого материала.

Считаю нужным оговориться, что в извещении о моей лекции было сказано „О влиянии механической обработки на свойства металла“, — но я ограничусь рассмотрением изготовления или обработки лишь железа в широком значении этого слова — железа сварочного или литого—и такой же стали, тем более, что другие металлы подвергаются чрезвычайно редко подобной обработке и в большинстве случаев представляют собой весьма удобный материал для изменения формы при помощи расплавления в какие бы то ни было сложные формы и при этом очень редко подвергаются тем обработкам, влияние которых мы будем сегодня рассматривать. Вот отчего я ограничусь обработкою железа в широком значении этого слова.

Обработка литого железа или стали механическими средствами обусловливается тем, что этот металл получается из руд или, главным образом, из чугуна не в таком виде, который удобно прямо придавать ему, выливая в те формы, в каких он должен служить к удовлетворению потребности, но обыкновенно он получается в виде грубого куска или болванки, которые потом уже при помощи других средств, — именно механических, — обрабатываются в требуемую форму.

Особенно в настоящее время, когда металлургия владеет всеми средствами для выплавления долго считавшегося неплавким железа, можно было бы непосредственно получать железо и сталь в тех формах, какие нужны нам для удовлетворения известных потребностей.

К сожалению, здесь мы встречаем чрезвычайно большие затруднения к получению плотного куска металла, не проникнутого пустотами.

Вследствие значительного изменения объема при затвердевании жидкого металла — железа и стали, слитки являются всегда переполненными большим или меньшим количеством пустот, которые, с одной стороны, происходят от выделения газов, растворенных в расплавленном железе или стали и образующихся вследствие химической реакции между расплавленным металлом и соприкасающимся с металлом воздухом с содержащейся в последнем влагой; с другой же стороны, оттого, что при уменьшении объема жидкого металла при переходе его в твердое состояние, образуются внутри пустоты, так называемые, усадочные раковины.

Вот для того, чтобы отливаемый предмет имел во всей массе достаточную плотность, необходимо полученный отливкою кусок металла обработать так, чтобы внутренние пустоты, неизбежно сопровождающие отливку стального или железного слитка, были уничтожены сдавливанием или свариванием, или, наконец, так расположены, чтобы опять-таки при помощи механической обработки, они перестали бы оказывать вредное влияние на прочность предмета.

Я хотел бы в общих чертах показать, как совершается затвердевание жидкой стали или железа при отливке его в формах. Напомню только, что вылитый в форму расплавленный металл отвердевает вследствие потери теплоты, поддерживавшей его в расплавленном состоянии. Потеря эта, первым делом, обусловливается передачею теплоты стенкам того сосуда, в который выливается расплавленный металл, стало быть и затвердевание металла всегда будет идти от стенок к внутренним его частям. Металл наростает, затвердевая непосредственно около стенок. Как же он затвердевает? Какими слоями наростает этот металл, идя от стенок?

Для этого достаточно взглянуть на слиток, полученный вслед за отливкой жидкой стали или жидкого железа в холодную форму. Надо опрокинуть эту форму, удалить прикасающийся слой жидкого металла, еще не застывшего, тогда и видно будет, каким образом стенки наростают, и каким путем шло затвердевание. Наблюдения показывают, что затвердевание происходит отбрасыванием остроконечных кристаллов, идущих от места прикосновения жидкого металла к стенкам изложницы внутрь нормально к поверхности формы.

Вот снятый аппаратом кристалл, росший в жидком металле и пойманный для снимка[1]) во время наростания удалением окружавшей

[1]) Рукопись лекции не имеет иллюстраций.—Иллюстрации для зарождения и роста кристаллов, равно как и другие, относящиеся к этой лекции, читатель найдет в статьях Д. К. Чернова, напечатанных в Ж. Р. М. О. 1915 г. № 1, или в его лекциях „Сталелитейное дело“, 1906 г. *(Прим. ред.).*

его жидкой стали. При этом корень затвердевания, если можно так выразиться, идет по продольной оси с отбрасыванием отростков во все стороны. Кристаллы этих отростков, которые можно назвать отростками первого порядка, отбрасывают в свою очередь отростки второго порядка. Если мы представим себе рядом расположенные, вследствие охлаждения, центры кристаллизации, то увидим, что и здесь от них быстро начнут свой рост оси кристаллов, спутываясь бросаемыми боковыми ветвями с ветвями соседних разветвлений. Часто кристаллы, сростаясь с своими соседями, образуют некоторые замкнутые пустоты, которые, вследствие отростков второго порядка, наконец, становятся совершенно замкнутыми и, в свою очередь, представляют некоторую маленькую форму, в которой находится известное количество жидкого металла. Что происходит далее, можно видеть из следующего.

Вот группа кристаллов, взятых в тот момент, когда уже началось перепутывание. Вот здесь ось первого порядка. Здесь мы видим изображение под микроскопом главной оси одного из кристаллов; отброшенные от него отростки вправо дали в свою очередь отростки второго порядка. Здесь уже виден момент, когда они сходятся между собой, когда отброшенные от других кристаллов ростки, огибая раньше их выросшие на пути кристаллы, залегают в тех местах, где встречаются с менее развитыми ростками. А здесь видно некоторого рода загибание вершины ростков, что может быть объяснено движением каких-нибудь кристаллов. Здесь, видимо, образовалось замкнутое пространство, наполненное жидким металлом, который должен пополнять собою рост начавших уже образовываться кристаллов. Уменьшая свой объем при затвердевании и служа материалом для дальнейшего роста этих кристаллов, жидкий металл неминуемо должен образовать, так назыв., усадки, т.-е. весьма малые, едва заметные под микроскопом с большим увеличением, пустоты.

Если, мм. гг., мы примем во внимание это обстоятельство, то увидим, что полученные отливкою металлы всегда представляются более или менее рыхлыми. Это свойство относится одинаково почти ко всем металлам, отливаемым в форму подобно стали.

Хотя при некоторых металлах и замечается увеличение объема во время затвердевания, но те металлы, которые служат в большинстве для удовлетворения наших нужд, отличаются указанным качеством весьма редко, следовательно, мы должны всегда рассматривать кусок металла, полученный отливкой, как переполненный мелкими микроскопическими пустотами. Вот, мм. гг., причина, почему полученный отливкою стальной или железный слиток, чтобы иметь его возможно высшего качества, непременно должен быть подвергнут механической обработке прессованием или сдавливанием,

что достигается при помощи паровых и других молотов, прокаткой в валках и т. д.

В настоящее время, для удовлетворения многих потребностей нужны больших размеров болванки стали и железа. Для того, чтобы построить какой-нибудь пароход или броненосец, изготовить стальное орудие большого калибра, сделать броню — все это требует больших масс металла.

Если мы представим себе литой кусок металла весом в 2, 3 или 4 пуда, то легко поймем, что для сдавливания заключающихся в нем пустот, принимая во внимание высокое сопротивление сжатию железа и стали, понадобятся большие механические усилия. Для обработки же больших масс железа и стали тем более нужно будет употребить чрезвычайно сильные механические средства, и то без пособия теплоты с ними ничего нельзя сделать: необходимо при помощи нагревания размягчить эту массу для того, чтобы быть в состоянии сколько-нибудь ее уплотнить.

Помимо того, что я сейчас сказал о росте кристаллов и об образовании мелких, проникающих их пустот, я считаю еще нужным упомянуть, что железо и сталь никогда в промышленности не получаются в совершенно чистом виде, и мы всегда встречаем в слитках более или менее значительное число примесей других (кроме железа и углерода) веществ: кремния, фосфора, марганца, серы. Я всех их перечислять не буду вследствие большого количества посторонних элементов, заключающихся в рудах. При точных анализах, иногда делаемых над чугуном, оказалось, что в нем находят до 15 и более элементов, но чаще всего и в наибольшем количестве мы имеем дело, помимо углерода, с примесями: марганца, кремния, фосфора и серы. Это почти постоянные спутники нашего чугуна, а стало быть в большем или меньшем количестве и спутники железа и стали.

При отливке стали, во время роста кристаллов, т.-е. во время затвердевания, происходят различные химические реакции и часто выделение некоторых из веществ, бывших в растворе во время расплавленного состояния металлов, выделяющихся и обособляющихся на поверхности вырастающих кристаллов. Если обозреть в микроскоп стенки пустот, которые проникают литую сталь, то можно найти при внимательном рассмотрении очень много своеобразных форм и различных цветов выделения, которые сидят на стенках кристаллов в различных видах.

Я не буду останавливаться на подробном рассмотрении этих выделений, только для примера укажу на снятые мной кристаллические группы такого характера, как показано на рисунке. Это шестиугольные пластинки, в некоторых местах весьма ясно обозначающиеся, а в других местах являющиеся в виде обломков, один

на другой налегающих, слипающихся вместе и образующих массу, едва напоминающую по очертаниям обломков такой же шестиугольник. Это вещество совершенно прозрачно, пластинки эти столь тонки, что я затруднялся их измерить. Поперечник этих пластинок колеблется от 0,001 — 0,01 mm. Что это за вещество, я не могу сказать определенно, потому и не указываю на него, но много таких выделений мы встречаем на стенках в пустотах болванки литой стали.

Всем известно, мм. гг., что чугун при отливке дает значительные выделения углерода, которого в чугуне много.

При остывании этот углерод не остается в соединении с железом и, менее сильно удерживаясь при медленном остывании, чем при быстром охлаждении, выделяется в пластинках графита большего или меньшего размера.

Переход углерода в графит из соединения с железом ясно обозначается в изломе металла в виде мелко или крупно обозначенных прослоек между кристаллами, чего не наблюдается в отбеленном чугуне, полученном при быстром охлаждении: излом первого металла серый, а второго — белый, блестящий.

Переходя опять к вопросу об обработке, я укажу только на общий вид представителей тех механических приборов, при помощи которых обрабатываются в настоящее время литое железо и стальные массы.

Еще в жидком виде, пока металл застывает, многие старались применить силу механического давления, чтобы все пустоты сейчас же сдавливать, не давать образовываться там в затвердевающем слитке пустотам, следить за уменьшением объема жидкого металла при его переходе в твердый, подвергать металл после его выливания в форму весьма сильному давлению с тем, чтобы постоянно заставлять металл заполнять образующиеся пустоты. Для этого было придумано применять сильный гидравлический пресс, давление поршня которого производит действие на застывающий металл в форме или изложнице, для чего последняя, скрепленная двумя кольцами, на тележке подвозится после отливки в нее металла под поршень гидравлического пресса, который проходит через отверстие в крышке изложницы и непосредственно давит на жидкий металл с его поверхности и таким образом следует за уменьшением объема затвердевающего металла. Это одна из наиболее известных систем в Германии и, кроме того, имеется видоизмененная Витвортом.

Витворт применил давление на поверхность жидкой стали в изложнице глухим поршнем, на который действуют гидравлическим прессом; такую операцию называют прессованием стали в жидком виде. Приспособление представляет, в общем, большой вертикальный гидравлический пресс. Внизу чугунный фундамент, основная рама, посредине в него вставлен гидравлический цилиндр с воротником и с большим поршнем в виде ныряла; на голове этого

поршня имеется перевозная площадка. Сверху расположен большой траверс, а под ним подвижной чугунный массив; траверс связывается с основанием четырьмя стальными колоннами, которые в верхней части представляют из себя винты, на которых чугунный массив может перемещаться помощью гидравлических цилиндров и тяг вверх и вниз, закрепляясь в данном положении гайками. На площадке подвозится изложница, в которую только-что налита сталь. Над изложницей к нижней стороне чугунного массива прикрепляется глухой поршень, диаметр которого соответствует внутреннему диаметру изложницы. Когда под нижний поршень пускается вода, то он поднимается вместе с изложницей, при чем верхний поршень плотно входит в изложницу; тогда все абсолютное давление пресса обрушится на заключенную в изложницу жидкую сталь. Полная сила пресса может быть доведена до 10.000 тонн: такой пресс Витворта был установлен на Обуховском заводе.

Несмотря на громадное давление пресса по отношению к болванкам, эти последние при меньшем количестве пустот внутри в центральных частях оказываются рыхлыми именно потому, что при больших размерах наросшие стенки представляют весьма большое сопротивление дальнейшему надавливанию поршня, так что как-бы то ни было нужно прибегать к другим средствам, именно к обработке помощью молотов уже после отливки.

Представители паровых молотов достигают в настоящее время весьма почтенных размеров, а именно, до 80 и до 100 тонн и при том 80-тонный молот двойного действия. Здесь вы видите общий вид 80-тонного молота простого действия, установленного на заводе Крезо. По бокам молота расположены 160-тонные краны для того, чтобы маневрировать с болванками, вес которых доходит до 6 и 7 тысяч пудов. Маневрируют болванками таким образом: подносят их к молоту, подвергают на наковальне ударам бабы, поворачивают по мере надобности и по остывании снова относят в печи, расположенные у молота. Печи устраиваются газовые, с колодцами для помещения генераторов. Чтобы видеть, какие средства употребляются для маневрирования с болванками, я снял особый рисунок, чтобы показать, как самая болванка подхватывается на цепи краном и, как она поворачивается. При таком громадном весе болванки ее нужно поворачивать механической силой: здесь видно, как ее поднимают, пользуясь силой паровой машины крана. Поршень оканчивается винтом и поворачивается небольшими зубчиками зацепляющегося колеса, вместе с которым на одной оси закреплен и шкив. Поворачивая этот шкив, перемещают цепь, а с нею вместе поворачивается и болванка.

Кроме паровых молотов употребляется еще прокатная машина. Когда нужен однообразный размер и большая длина, тогда сжи-

мают кусок металла между двумя соответствующими валками, надавливая и вращая их, вытягивая прокатываемый металл до требуемых размеров.

Куски стали, представленные здесь на рисунке, малого размера, но таким же способом обрабатывают и очень большие массы. Так, для прокатки брони куски литой стали достигают 2 — 3 тысяч пудов. Кроме того, для замены ударов, сопровождающих обработку под паровым молотом, применяют в настоящее время жомы, где усилие, требуемое для обжимки металла, прикладывается статически, а не ударом к нагретому куску стали. Давление в первом прессе-жоме Витворта достигало 2.000 тонн, что соответствует средней величине развивающегося сопротивления в стальной болванке, проковываемой под 50-тонным молотом Обуховского завода. На некоторых заводах применено непосредственное давление при помощи большой гидравлической силы вместо ударов бабы. Представителем подобного аппарата может служить пресс, который был введен в Германии и в общих чертах представляет из себя обыкновенный гидравлический пресс, при котором работают два различных аккумулятора. Для подъема головы пресса служит всегда небольшое давление, а тогда, когда под прессом обрабатывается кусок металла, сжимаемый между нижней наковальней и головой пресса, такое движение производится аккумулятором наибольшего давления.

Из этого видно, все что манипуляции, совершаемые для обработки нагретого металла под молотом, могут удобно совершаться и при помощи гидравлического пресса, с той разницей, что в последнем случае нет того шума и сотрясения, какое вызывает устройство мощного основания под наковальней парового молота большой силы.

Для того, чтобы определить влияние нашей обработки на качество металла, нам в высшей степени важно знать, что делается при каждой операции, предпринимаемой в целях обработки. Первая операция при обработке под молотом, в прокатных валках, при обжимке жомом или прессом есть нагревание стального слитка. Мы должны коснуться того влияния, которое обнаруживает теплота. Все отдельные, как бы разделяющиеся между собой группы кристаллов, позволяющие нам сравнительно легко разламывать слиток литой стали, при температуре нагрева до красного каления или 750° от теплоты нагрева слипаются между собой, и вся масса металла из кристаллической переходит в аморфную воскообразную массу. Если мы возьмем кусок воска, совершенно плотного в его массе, и размягчим его настолько, чтобы он получил пластичность, то как бы его не били молотком,как бы мы его не мяли, если воск был взят в совершенно плотной массе, его пластичность не изменится, мы ничем не можем изменить в самой природы вещества, которая остается неизменной со всеми присущими ей качествами. В смысле плотности мы не достигнем ничего,

и это нисколько не удивительно: если масса не сжимаема, то, как бы мы ее ни били, ни давили, она и после этого останется такой же, как была. Масса стали, нагретая до красного каления и получившая такую же сравнительно плотность, как взятый нами кусок воска, будет в состоянии несжимаемости: можно сжать, сблизить только те пустоты, которые в ней имеются, но если бы в слитке не было никаких пустот, то задача обработки ударом молотов, давлением прокатных валков, только и заключалась бы в том, чтобы изменить форму литых кусков стали, как в приведенном нами примере изменяется форма воска. Стало быть задача обработки литой стали под паровым молотом в отношении свойств металла заключается только в том, чтобы при помощи сильных ударов или сильного сжатия сблизить те частицы, которые расщеплются этими мелкими микроскопическими пустотами. Мы знаем, с другой стороны, что железо и сталь обладают весьма благодарным свойством слипаться, если никакое постороннее тело не мешает; это происходит при температуре красного каления и известно под названием сварки. Сварка—это ни что иное, как только очень тесное соприкосновение неокисленных частиц стали или железа при температурах красного каления. Приняв это во внимание, мы видим, что задача обработки под молотом состоит в том только, чтобы слиток при помощи давления привести в наиболее благоприятное состояние в смысле сближения стенок пустот, имеющихся в слитке, но не для уплотнения всей массы металла, а также для того, чтобы придать ему форму, которая нам нужна.

Мы привыкли с понятием о ковке стали соединять всегда понятие об ее уплотнении, не только в смысле освобождения от пустот, но и в смысле уплотнения массы металла самой по себе, но на самом деле выходит, что ковка только изменяет форму данного куска и, смотря по отношению силы ударов молота к толщине обрабатываемого куска, в большей или меньшей степени мешает кристаллизации массы стали, но не может ее самое по себе уплотнить; сила ударов молота слишком мала, чтобы победить ту громадную силу теплоты, которая отделяет частицы одну от другой на известные расстояния. Если данный кусок стали нагреем, прокуем под молотом, прокатаем в валках, как бы сильно при этих операциях не сдавливали сталь, мы заметим, что удельный вес стали в большинстве случаев уменьшился. Стало быть, если мы молотом и прокаткой не можем увеличить плотности металла, значит эта обработка в этом отношении теряет свое значение. Тогда надо обратить внимание на другую деталь, составляющую эту механическую обработку, — именно на теплоту и посмотреть, что делает теплота сама по себе помимо участия молота.

Массу стали очень удобно рассматривать, как весьма концентрированный раствор какой-нибудь соли в ее кристаллизационной

воде. Это сравнение было с самого начала принято, удержалось впоследствии и до сих пор признается, сколько известно, одним из наиболее подходящих. Пусть это будут квасцы, способные при повышении температуры растворяться в своей кристаллизационной воде.

Наступит момент, что этой кристаллизационной водою начинает смачиваться кусок квасцов, положенный в стеклянную колбу при осторожном ее нагревании, и тогда отдельные кристаллы, составляющие данный кусок, будут как бы слипаться между собой, образуя одну расплывающуюся массу, т.-е. этот момент вполне соответствует слипанию отдельных индивидуумов кристаллов в слитке стали. Если мы начнем охлаждать жидкость, представляющую раствор квасцов в своей кристаллизационной воде, то смотря по условиям охлаждения мы можем получить в начинающей кристаллизоваться соли от самых крупных до самых мельчайших едва заметных для глаза кристаллов.

Когда мы нагреем до красного каления металл, мы в момент слипания отдельных кристаллов получаем воскообразную структуру — это состояние можно назвать аморфным. Если нагреть металл до очень высокой температуры и дать ему спокойно охладиться, то будет нечто подобное, как в примере с квасцами, если довести нагревание до совершенного расплавления массы в своей кристаллизационной воде, когда образование в этой воде при охлаждени большего или меньшего числа кристаллов будет зависеть от того, насколько спокойно или с сотрясением продолжается этот переход от расплавленного состояния в твердое. Точно так же и со сталью, нагретой до высокой температуры: если она не будет подвергаться механическим усилиям и сотрясениям, не будет как бы взбалтывания, то и в стали образуются крупные кристаллы, которые не только видны под микроскопом, но их можно осязать руками.

До того велико обособление кристаллов при спокойном застывании, что по охлаждении на изломе куска стали ясно обнаруживается рассыпчатое зернистое сложение. Излом бруска совершается чрезвычайно легко, и при этом зерна так слабо сцеплены, что их можно отделить при помощи ногтя, можно разобрать отдельные зерна. В этом отношении мы не узнаем нашего металла, так высоко ценимого за его твердость и сопротивление. Я вам покажу кусок стали, который, сначала плотный, потом нагретый до высокой температуры, был чрезвычайно медленно охлажден. Мы дали возможность кристаллизоваться слипшейся массе металла, пришедшей вследствие нагревания до высокой температуры в аморфное состояние и потом от высокой температуры перешедшей к охлаждению. Кристаллизация здесь выразилась очень ясно — кусок рассыпается на зерна под влиянием выцарапывания ногтем. Итак, влияние теплоты таково,

что при помощи ее мы можем привести сталь в аморфное состояние и сделать ее подобно воску без кристаллов, и в этом состоянии она окажет нам очень большую услугу в применении ее к нашим потребностям, и точно так же при помощи теплоты же мы можем совершенно уничтожить в стали всякое подобие того металла, который нам оказывает такую большую услугу в первом случае.

Теперь, м.м. г.г., мы рассмотрим еще другой вид механической обработки без пособия теплоты. При участии теплоты мы видели, что ни удары молота, ни давление валков при прокатке, ни давление жома не имеют главного влияния на свойство металла, а что это влияние надо приписать теплоте; теперь посмотрим, как влияет механическая обработка без пособия теплоты, тогда будет видно, что можно приписать чисто механической обработке—в отдельности. Для того, чтобы немножко расчленить явление, припомним, что механическая обработка без участия теплоты наиболее нам известная—это протяжка проволоки. Так как механическая обработка без участия теплоты всегда затруднительна вследствие того, что не разогретый, не размягченный металл представляет большое сопротивление, то она и употребляется только в том случае, когда применение теплоты было бы неудобно. В других целях, как, напр., при вытяжке очень длинной тонкой проволоки при помощи особых машин, прокатывают проволоку в горячем состоянии до 4-х мм, в диаметре, но для этого требуется такая комбинация вращающихся валков, чтобы тоненькие полоски не успевали скоро остывать; что же касается более толстых сортов, нужно ограничиться одними механическими усилиями. Вам известно, как приготовляется проволока.

Самый способ обработки показывает, что предел упругости, вследствие вытягивания за первоначальный предел упругости, возвышается. Это не требует особых доказательств, всем известно, что проволока, полученная из самого мягкого железа через проволакивание сквозь отверстие волока, получает качества весьма близкие к закаленной стали.

Если мы рассмотрим излом протянутой сквозь волок в холодном состоянии проволоки, то увидим, что этот излом вовсе не похож на излом кованного металла, что здесь мы замечаем большую или меньшую группировку вытянутых кристаллов или зерен. Здесь структура металла, какая была до проволакивания, после операции протяжки изменилась, не переходя через аморфное состояние, изменилась только вследствие того, что установившаяся группировка приняла более или менее вытянутое положение. Я отмечу только факт, что вследствие этого вытягивания по одному направлению сопротивление разрыву или временное сопротивление железа или стали возрастает, предел прочного сопротивления возрастает, удлинение при разрыве уменьшается, одним словом, металл делается тверже; проволока с одной стороны волока была мягка, легко могла

завязываться в узел, по другую же сторону волока она теряет мягкие свойства, получает некоторую хрупкость. Вот какого рода изменения производит вытягивание металла без участия теплоты — это при растяжении в одну сторону, по одному направлению; если же мы возьмем кусок стали или литого железа и будем не вытягивать его в длину, а ударять молотом со всех сторон, то увидим, что металл и от этого делается тверже. Если это был брусок, раньше сгибавшийся очень хорошо, то теперь после этих ударов, которые в сущности чрезвычайно мало изменили размеры этого бруска, он получает очень большую твердость. Если бы мы вырезали из него брусочек для испытания на прессе, то увидели бы, что после этого наколачивания молотом, что-то изменилось в металле, что он получил большую твердость, предел прочного сопротивления возрос, временное сопротивление также увеличилось, а удлинение уменьшилось. Происходит ли это действительно от сплачивания частиц, или от их разрыхления — это покажет определение удельного веса.

Все показывает, как это мы упоминали раньше, что всякая механическая обработка, с какой бы силой ни была приложена, всегда даст меньший удельный вес, нежели спокойное остывание и затвердевание металла после его выплавления. Казалось бы странным, что механическое усилие при прокатке (протяжке) разъединяет частицы, и еще более странно, что тоже самое явление мы замечаем и после проковки под молотом. Тут уже вызывается частичное напряжение, здесь происходят насильственные удаления частиц одной от другой, потому что уменьшение удельного веса и увеличение объема прямо указывают на то, что частицы удалились друг от друга, а уменьшение удлинения, увеличение прочного сопротивления и увеличение временного сопротивления показывают, что действительно расстояние между частицами увеличилось.

Чтобы видеть, как изменяются расположения частиц, или, распределяются напряжения при обработке литой стали или литого железа помощью механических усилий без участия теплоты, для этого достаточно взглянуть, какие явлениянам представляются при механической обработке в холодном виде. Так, возьмем стальной лист, обрежем его под большими ножницами, проделаем около края его несколько сквозных отверстий в холодном виде, т. е. подвергнем этот кусок холодной обработке, к которой чаще всего нам приходится прибегать в заводском деле, тогда окажется, что после обрезки под ножницами и после продавливания около края листа дыр, эти кромки листа растягиваются, следовательно, под влиянием механического усилия, давления, произведенного ножницами при срезке кромок, или при продавливании отверстий около кромок, окружающие места металла становятся волнистыми. Всякий котельщик и всякий, кто

видел листы, подготовляемые к скреплению котлов или мостовых сооружений, очень хорошо знает, что длина кромки после этой операции увеличивается, что кромка делается волнистой по длине. Теперь вопрос, как переходят свойства обработанной части металла, к свойствам не прогнутых мест листа, не пострадавших от этой механической обработки? Этот переход весьма хорошо виден, если лист будет заранее отполирован: всякое вытягивание или перемещение частиц на полированном предмете выражается матовостью его поверхности. Всем известно, что если мы полированный брусочек будем подвергать растягиванию на гидравлическом прессе, то как только предел упругости будет достигнут, и как только начнется неупругое постепенное перемещение, то в соответственном месте сейчас же на поверхности появится матовая полоса, которая ясно обозначится на том именно месте, где происходит неупругое перемещение. Так, если мы отполируем лист, сделаем или разрез, или продавливание дыр, то по полированной поверхности мы увидим, где металл растягивается больше, где меньше, где растягивание совсем прекращается, и увидим, каким образом металл, измененный при помощи механических усилий в холодном виде, переходит к металлу, нетронутому обработкой. Испытывая планки, отрезанные от стальных листов под ножницами для определения свойств или качеств тех листов, мы замечаем, что при растяжении образцов из них на гидравлическом прессе, образцы эти, переходя за предел упругости при начале постепенного растяжения, покрываются вдруг рисунком того или другого вида. Если обратиться к тем обстоятельствам, при которых были приготовлены образцы с левой и с правой стороны, то мы заметим, что левый образец был отрезан ножницами от листа только с одной стороны, а другая сторона была обработана пилой, где не было смятия, когда же планка отрезается с обоих сторон на ножницах, тогда получаются перекрестные линии. Чтобы выяснить, отчего эти линии происходят, достаточно проследить, что происходит в соседних частях при продавливании дыр. Если мы на полированном листе в холодном состоянии продавим отверстие, то появится ряд матовых спиралей; если же мы обрежем край полированного листа под ножницами, то увидим, что эти матовые линии, по мере движения ножниц, резко распространяются. Что же из этого следует? Из этого следует, что металл при продавливании дыр растягивается не непрерывно в постоянно уменьшающейся прогрессии, по мере удаления от отверстий, а только по некоторым линиям, которые так своеобразно дают себя знать на рисунке. Точно так же и при отрезке края листа над ножницами вследствие насильственного давления этой кромки растяжение частиц вовсе не выразилось непрерывным разъединением или растягиванием частиц, а выразилось по направлению каких-то особых

кривых линий. Для того, чтобы еще более расширить круг наших знаний относительно распределения этих напряжений, попробуем отполированный кружок или пластинку в холодном состоянии смять под молотом, чтобы увидеть, как удары, произведенные на кусок стали в холодном состоянии, нарушают связь между частями или как они растягивают металл.

Вот результат смятия кружка под паровым молотом. Кружок сначала правильно положен ребром на наковальню и одним ударом молота смят. Здесь видны следы удара, видно, как произошло смятие, и по каким линиям произошло соответственное растяжение. Эти линии чрезвычайно хорошо характеризуют, каким образом распределяется внутреннее частичное напряжение и сопротивление внешним усилиям. Для объяснения этих явлений остается только сравнить с тем, что происходит при надавливании внешним механическим усилием на упругое тело. Для того, чтобы яснее это видеть, можно сравнить с явлением, вызываемым механическими усилиями в стеклянных пластинках. Оказывается, что при надавливании при помощи винта или какой-нибудь другой надавливающей пластинки на стекло, вызываемые в надавливаемой стеклянной пластинке напряжения весьма ясно видны при пропускании луча света. Под микроскопом или прямо через призму видно, что получаются радужные круги, весьма похожие на те волны, которые вызываются турмалиновыми пластинками при их поворачивании. Если мы надавим винт на какую-нибудь часть стеклянной пластинки, то сейчас же около точки приложения его к пластинке появляются волны напряжения, соответствующие сопротивлению внешним механическим усилиям, сопротивлению растяжению, раздроблению или изменению формы предметов. Эти волны чрезвычайно сходны с теми явлениями, которые мы замечаем на полированных, стальных пластинках после того, как мы продавим в них дыры, сомнем их или обрежем. Не входя в подробности, почему происходит это изменение в металле, так как оно еще мало освещено, я считал только нужным обратить внимание на аналогию этих явлений в других упругих телах.

По исследованиям, которые были сделаны над пластинками и вызванными в них линиями растяжения, оказывается, что в этих линиях действительно только и произошло растяжение. При испытании на гидравлическом прессе потом на разрыв таких пластинок оказывалось, что там, где были линии, тягучесть металла изменилась, иначе говоря, происходил процесс растягивания, как в куске проволоки, т.-е. в тех местах, где металл удлинялся, там получался высший предел упругости, меньшая тягучесть.

Обращаясь к третьему способу обработки металлов, именно, при помощи только одной теплоты—без участия механической силы, мы имеем дело, как всем известно, с нагреванием металла, соединенного

с более или менее быстрым охлаждением, т.-е. с операцией, которая разделяется на закалку, отпускание (отпуск) и отжигание (отжиг).

Какое громадное влияние оказывает теплота на свойства стали при ковке — это мы уже видели. Но особенно велико ее влияние тогда, когда вместе с нагревом соединено очень быстрое охлаждение, когда происходит закалка.

Явление закалки в общих чертах можно объяснить следующим образом. Когда мы нагреваем сталь до температуры красного каления около 750°—800°, когда она примет аморфное воскообразное сложение, тогда, если мы будем ее очень быстро охлаждать, то мы предупредим образование крупных кристаллов, крупных зерен, предупредим возможность группировки частиц в отдельные зерна, и если мы не дадим вовсе времени для какой бы то ни было группировки частиц, то мы задержим это воскообразное состояние и получим по охлаждении структуру, ничего общего не имеющую с кристаллической. Для этого нужно, нагревши сталь до красного каления, подвергнуть ее быстрому охлаждению, и чем больше мы охлаждаем ее, тем больше задерживаем это аморфное состояние. Но если мы быстро охлаждаем сталь после нагревания до красного каления, мы вместе с тем попутно имеем дело еще с химическим процессом — именно, мы углерод, заключающийся в стали, задерживаем, так сказать, в том состоянии, которое он имел при нагревании до красного каления. Что эта обработка нагреванием, соединенным с охлаждением, имеет большое влияние на химический состав стали — это покажет анализ. Если при помощи химического анализа мы будем определять углерод в стали в незакаленном состоянии, то окажется, что он заключается в ней в виде некоторого химического соединения с железом, а если мы будем анализировать сталь закаленную, то окажется, что весь углерод, заключающийся в стали, находится в состоянии аморфном, равномерно распределенным по всей массе стали, не входящим ни в какое химическое соединение с железом. Это позднейшее исследование английского химика Абеля весьма ясно показало, что обработка помощью нагревания и охлаждения могла влиять на химический состав стали в смысле того или другого соединения железа с углеродом. Помимо изменения в химическом составе, при закалке наблюдаются очень важные изменения в отношении объема, а стало быть и в отношении удельного веса. Если мы измерим кусок стали до закалки и после закалки, то заметим, что объем его значительно увеличился от закалки. Так как вместе с тем сильно возрастает и твердость, то можно было бы придти к заключению, что чем больше удлинение бруска, тем тверже сталь, и тем большую она получает закалку.

Ниже приведена таблица изменений длины кованных стальных брусочков после закалки и отпуска.

Изменения длины кованых стальных брусочков от закалки и отпускания.

№ бруска.	Расстояние между метками до закалки в дюймах.	Тоже после 1-й закалки.	1-я разность.	Расстояние после 2-й закалки.	2-я разность.	Средняя 1-я разность в % первоначальной средней длины.
4	5,4625	5,4800	+ 0,0175	5,4800	0	0,336
	5,6900	5,7100	+ 0,0200	5,7125	+ 0,0025	
6	5,5950	5,6125	+ 0,0175	5,6150	+ 0,0025 [1])	0,332
	5,7000	5,7200	+ 0,0200	5,7250	+ 0,0050 [1])	
7	5,3950	5,4150	+ 0,0200	5,4125	+ 0,0025	0,302
	5,3475	5,3600	+ 0,0125	5,3625	+ 0,0025	
[2]) 8	5,5400	5,5550	+ 0,0150	—	—	0,323
	5,2875	5,3075	+ 0,0200	—	—	
9	Температура нагрева ниже (*a*)					
	5,6725	5,6670	— 0,0055	—	—	
	5,2000	5,1910	— 0,0090	—	—	
	После 1-й закалки.	После 1-го отпускания.	1-я разность.	После 2-го отпускания.	2-я разность.	
8	5,5550	5,5475 [3])	— 0,0075	5,5460 [5])	— 0,0015	
	5,3075	5,2925 [4])	— 0,015	5,2925	0	

[1]) Нагрев при закалке очень высокий; [2]) измерение брусков №№ 8 и 9 производилось с точностью до 0,0005 дюйма; [3]) этот бок отпущен до желтой побежалости; [4]) этот бок отпущен до синей побежалости; [5]) весь брусок отпущен до синей побежалости.

Брусочки около $^{1}/_{2}$ дюйма в квадрате подвергались быстрому охлаждению после нагрева до красного каления с тем, чтобы измерить изменение объема. Изменение объема измерялось при помощи измерения длины, так как это давало меньшую ошибку.

Мы видим, что для всех брусков, которые были закалены, везде разность имела положительное значение, т.-е. все бруски после закалки увеличились в своей длине. Некоторые бруски, как видно, из таблицы, подвергались вторичной закалке, и в графе помещается вторая разность. Из рассмотрения первой и второй разности оказывается, что при закалке изменяется только в первый раз объем стали и если хорошо она закалилась, тогда следующая закалка не может изменить объема. Это доказывает, что при закалке, если она сделана правильно, т.-е. нагревание довольно значительно и охлаждение достаточно быстро, тогда получается крайнее увеличение объема, крайнее возможное напряжение между частицами, без их разрушения. Если с закалкой связано увеличение объема и расстояния между частицами, то при обратном движении, при отпускании, при нагревании закаленной стали вновь до некоторой температуры, напр., около 200° — 300°, когда появляется первая желтая побежалость, закалка ослабевает и вместе с тем уменьшается объем, т.-е. увеличивается плотность стали. Брусок № 8 после первой закалки подвергался отпусканию. Первое отпускание было сделано так, что верхний бок был отпущен до желтой побежалости, а нижний бок отпущен был до синей побежалости, тогда здесь получилась отрицательная разность, т.-е. длина уменьшилась с той стороны, где брусок был больше нагрет, т.-е. где более были уничтожены следы закалки. После вторичного отпускания оба бока были отпущены до синего цвета, и вторая разность получилась 0 для того бока, который уже был раз отпущен, и затем уменьшилась длина того бока, который ранее был меньше отпущен. Если нагреть закаленный брусок потом опять до красного цвета и заставить его медленно охлаждаться, то заметим, что этот брусок примет свои прежние размеры.

Отсюда видно, что закалка, или очень быстрое охлаждение стали после нагревания до красного цвета, есть явление весьма характерное, выражающееся в увеличении объема, т.-е. в уменьшении удельного веса, в крайнем напряжении частиц, выражающееся весьма большим возрастанием твердости, уменьшением растяжения и появлением хрупкости в металле. Как сильно влияет быстрое охлаждение, как велико увеличение объема при закалке — это видно на брусочках. Если брусочек после нагревания закалить только одной стороной, погрузить в воду так, чтобы одна сторона получила закалку, тогда брусок сильно искривляется, закаленная сторона делается выпуклой, а незакаленная вогнутой.

Для того, чтобы сгруппировать вместе результаты обработки, которой подвергается сталь или литое железо, приведем следующие данныя. От одной и той же литой болванки отрезаны рядом несколько брусков, и эти бруски подвергнуты различным обработкам.

Один брусок, вырезанный из литой болванки без всякой дальнейшей обработки, был подвергнут разрыву на прессе и дал следующие цифры:

предел упругости . . . . 1325 кил. на кв. с.
временное сопротивление . . . . 4637 кил. на □ с.
удлинение . . . . 9% при длине образца в 5,23 дм.

Следующий кусок, вырезанный из той же болванки, был прокован при высокой температуре и медленно охлажден — этот брусок дал:

предел упругости . . . . 1925 кил. на □ с.
временное сопротивление . . . . 5611 кил. на □ с.
удлинение . . . . 11% при длине образца в 5,74 дм.

Рядом с этим для объяснения параллельного влияния только одной теплоты, не связанной с механической обработкой, брусок был нагрет до красного каления, охлажден в воде до бурого цвета и затем медленно охлажден. Это охлаждение в воде имело целью по возможности ускорить время понижения температуры от красного каления до темно-бурого цвета, чтобы не дать развиться тем кристаллам, которые могут образоваться в стали под влиянием спокойного медленного охлаждения до той же температуры: ускоряя этот период, мы затрудняем образование кристаллов. Затем брусок медленно охлажден, стало быть после обработки теплотою он получил уже свойство незакаленной стали: 13% удлинения показывают, что он не получил никакой закалки. Брусок дал следующие цифры механического испытания:

предел упругости . . . . 2825 кил. на □ с.
временное сопротивление . . . . 6214 кил. на □ с.
удлинение . . . . 13% при длине образца в 6.2 дм.

Мы видим, что образец этот показал числа, бо̀льшие предшествующих.

Для того, чтобы параллельно сравнить влияние ковки, продолженной до температуры низшей против обыкновенного красного каления, низшей против той, при которой происходит слипание частиц или воскообразное

состояние, брали брусок сильно вытянутый ковкой до бурого цвета. Здесь уже являются следы механической обработки без участия теплоты — я говорю следы, потому что брусок был еще нагрет до бурого цвета, когда над ним совершалась последняя механическая обработка. Здесь при значительном увеличении предела упругости, при незначительном, в общем, увеличении временного сопротивления, замечается уже уменьшение тягучести — вот цифровые данные его механического сопротивления:

предел упругости	4550 кил. на □ с.	
временное сопротивление .	6149 кил. на □ с.	
удлинение	9,6%.	

Наконец брусок прокован при высокой температуре, охлажден в воде совсем и затем отпущен до бурого цвета.

Здесь дело механической обработки предоставлено действию теплоты. Брусок охлаждался под влиянием ударов молота, под влиянием силы, мешающей группировке кристаллов, и кроме того был охлажден тоже при высокой температуре, также мешающей группировке кристаллов.

И чтобы удалить всякое влияние закалки, т.-е. уничтожить результат химического состояния углерода — брусок был отпущен до бурого цвета.

Влияние этой обработке сказалось более, нежели влияние весьма сильной ковки, а именно:

предел упругости	6300 кил. на □ с.
временное сопротивление .	9008 кил. на „ с.
удлинение	3%.

Тягучесть металла уже значительно изменилась. Из приведенных данных видно, как над одним и тем же куском стали при помощи главным образом, теплоты можно производить такие изменения в качествах, что результаты обработки того же самого металла иногда совершенно не похожи на результаты, получаемые при первоначальном испытании металла или при других способах обработки.

Очень часто, чтобы получить изделия известных качеств, обращают особенное внимание на химический состав стали. Если мы возьмем сталь или литое железо с теми примесями, которые у нас встречаются в металлургических процессах, если возьмем довольно значительную на первый взгляд разницу по составу стали, то при тождественных условиях обработки мы заметим меньшую разницу в свойствах, нежели можем встретить в одном и том же куске металла при различных способах обработки. Для того, чтобы еще

нагляднее это себе представить, в предыдущих данных было устранено влияние третьего способа обработки, именно закалки. Последний брусок, обработанный сначала легкой ковкой при высокой температуре, хотя и был охлажден в воде, но был отпущен и всякий след закалки был уничтожен, но там не был введен еще один фактор— именно медленное охлаждение и отжигание.

Ниже сгруппированы все типичные приемы обработки. Это результаты обработки стали различными путями, при чем сталь была вырезана из снаряда Круппа, 11-ти дм. калибра.

Испытание было сделано на прессе и дало следующие результаты:

для вырезанного бруска без обработки	предел упругости	7800 атм.
	временное сопротивление	10.900 атм.
	удлинение	5% при длине образца в 6,85 дм.

Другой брусок из того же снаряда был подвергнут отжиганию, т.-е. нагрет до красного каления и весьма медленно в течение полусуток охлаждался. Такой же отожженный брусок из той же самой стали дал совершенно похожие на первые результаты; вот данные:

предел упругости . . . . . 2200 атм.
временное сопротивление . 6800 атм.
удлинение . . . . 15,3% при длине образца в 4,5 дм.

Вырезанный из того же самого снаряда третий брусок был нагрет до красного каления и прокован. Это самая обыкновенная ковка, вот ее результаты:

предел упругости . . . . 3700 атм.
временное сопротивление . 8800 атм.
удлинение . . . . 10% при длине образца в 6 дм.

Рядом с ним был прокован при тех же условиях и потом закален в масле, нагретом до 150°, брусок, который дал результаты, значительно превосходящие предшествующие, а именно:

предел упругости . . . . 8800 атм.
временное сопротивление . 13600 атм.
удлинение . . . . 4,1% при длине образца в 5,8 дм.

Затем также закаленный в масле, нагретом до 250°, предварительно прокованный кусок дал:

предел упругости . . . . . 9200 атм.
временное сопротивление . 12.900 атм.
удлинение . . . . 6% при длине образца в 9,2 дм.

Брусок вырезанный из того же снаряда, прокованный, закаленный в воде и отпущенный до 300°, т.-е. до температуры, при которой в стали остается еще половина углерода в том аморфном состоянии, которое соответствует полной закалке, отпущенный только для того, чтобы иметь возможность выточить затем на станке образец для испытания, при котором получились следующие данные:

пред. упругости 12.200 атм.
временное сопротивление 14.500 атм.
удлинение 3,7%, при длине образца 5,28 дм.

Все приведенные цифры временного сопротивления отнесены к первоначальной площади образца, взятого для испытания, а не к той, которая соответствовала разрывающему усилию. Если для этого последнего образца, при 14,500 кгр. на кв. сант., отнесенные на первоначальную площадь сечения, отнести разрывающий груз на площадь разрыва, тогда окажется, что сопротивление на площади разрыва выразится цифрой 24,500 кгр. на □ сант.

Я только обращаю ваше внимание на то, какое разнообразие можно получить в результатах, подвергая одну и ту же литую сталь и одно и то же литое железо различным способам обработки. Иногда очень мало уловимые на первый взгляд отклонения от той или другой методы обработки вызывают значительно большие отклонения в результатах, нежели некоторые отступления в химическом составе стали.

Для того, чтобы обратиться к исследованию некоторых других качеств стали и железа, кроме тех, которые зависят от механической обработки, посмотрим на следующую сторону явлений. Нам известно, напр., что закаленная сталь и незакаленная относятся различно к магнетизму и электричеству. В незакаленном состоянии мягкая сталь весьма чувствительна и восприимчива к влиянию намагничивания, а закаленная сталь в этом отношении мало чувствительна: первая почти не удерживает вызванного в ней магнетизма, а вторая чрезвычайно долго и упорно удерживает. Для того, чтобы мы могли правильно наблюдать малейшие влияния механической обработки на свойства литого железа и стали, было-бы очень хорошо, если-бы мы обратились для измерения указанных влияний именно к восприимчивости стали к магнитным влияниям. Эту сторону вопроса разработал один из английских ученых проф. Юз, трудами которого я в настоящее время пользуюсь. Юз устроил особые магнитные весы для определения степени магнитной восприимчивости данного куска, т.-е. степени напряженности частичных сил, чтобы по этому признаку судить о степени закалки

стали данного состава или же судить о твердости данной незакаленной стали.

Идея устройства магнитных весов Юза заключается в следующем. Между катушками - соленоидами помещена магнитная компасная стрелка, подвешенная на шелковой паутинке; прибор устанавливается так, чтобы северный конец стрелки совпадал с нулем лимба при перпендикулярном положении стрелки к оси прибора. Вправо от правого соленоида по отношению к стрелке расположен пластинчатый магнит—компенсатор, вращающийся около вертикального штифта по кругу — лимбу, разделенному от нуля в правой или левой частях — четвертях окружности по 360°. Деления эти условно названы градусами. Левый соленоид является предметным — для помещения в нем испытуемого куска стали. Правый соленоид выбирается таких размеров и устанавливается в таком расстоянии от магнитной стрелки, чтобы один и тот же ток, пропущенный через оба соленоида, уравновешивался в его влиянии на магнитную стрелку, которая при этом совпадала бы северным концом с нулем своего лимба. При вкладывании в левый соленоид испытуемого куска железа или стали, под влиянием тока он превращается в электромагнит тем более сильный, чем более восприимчив металл к магнетизму, и, следовательно, тем большее отклонение магнитной стрелки будет вызвано таким электромагнитом; для приведения стрелки в нормальное ее положение поварачивается компенсатор в ту или другую сторону, при чем число делений поворота служит мерилом магнитной чувствительности испытуемого куска стали или железа. Для устранения влияния существовавшего в испытуемом металле до опыта или задерживаемого в нем во время опыта магнетизма Юз каждый раз после отметки показания компенсатора опрокидывал ток в обратную сторону и отмечал снова показание компенсатора, повернутого в другую сторону; оба показания складывались и сумма их служила мерилом физического состояния испытуемого металла. Юз производил свои опыты при помощи весьма слабых токов, употребляя один элемент Даниэля и вводя в цепь катушку сопротивления от 10 до 100 омов. Результаты опытов Юза выражаются следующими положениями:

1) при слабых токах магнитная восприимчивость прямо пропорциональна мягкости стали или железа, т.-е. молекулярной свободе;

2) сопротивляемость слабым внешним магнитным влияниям прямо пропорциональна твердости или молекулярной напряженности.

Для опытов Юз брал проволоку в $1^{м}/_{м}$ диаметр. и 10 сант. длиной.

Название материалов.	Сопротивление электрическому току 1 мили проволоки в омах.	Сопротивление разрыву в тонн. на □ дм	Магнитная восприимчивость.			Содержание углерода.	Примечание.
			Первоначальной.	Отожженной.	После закалки.		
1) Шведское кричное железо.	191,5	28	230	525	435	0,09	1) Шведскому железу закалка придает около 25% твердости, а холодная наклепка увеличивает твердость на 50%. 2) В твердой стали наоборот: закалка увеличивает твердость на 400%, а наклепка только на 50% — все эти данные по масштабу Юза.
2) Шведское литое железо мартеновское.	226,3	34	165	430	390	0,10	
3) Пудлинговое железо	259,9	30	212	340	328	0,10	
4) Бессемеровская сталь. . . .	266,52	35	150	291	255	0,15	
5) Тоже твердая . .	312,7	50	115	172	60	0,44	
6) Тигельная инструментальная сталь.	350	55	50	84	28	0,62	

При вкладывании мягкого железа в катушку - соленоид и при замыкании тока железо быстро намагничивается; если же мы также поместим вместо мягкого железа стальной сильно закаленный брусок, он останется совершенно не намагниченным, и только через продолжительное время в нем может развиться магнетизм, который, с другой стороны, весьма упорно удерживается по удалении намагничивающего влияния. Вот если мы прибегнем к этому свойству и станем говорить, в какой мере данный брусок под влиянием постоянного тока чувствителен к магнетизму, насколько он восприимчив и насколько он задерживает в себе магнетизм, тогда мы можем верно сказать, насколько два данные бруска, поставленные в эти условия, разнятся между собой по твердости. Нужно заме-

тить, что Юз, в видах большой точности исследования присылаемых на испытание образцов, просил непосредственно тех фабрикантов, от которых получалась проволока для испытания, чтобы она была выбрана из лучших кусков металла — без всяких пороков и отличалась бы равномерностью. Чтобы и далее устранить всякую неточность, Юз требовал обозначения способа изготовления образцов.

Степень мягкости для первой проволоки по таблице Юза обозначается в 230° по прибору — это в первоначальном ее состоянии, а в отожженном она возрастает вдвое (525). Это есть результат обработки металла при различных степенях отжига. В приведенной таблице помещены данные в магнитном отношении для разных металлов (с содержанием углерода 0,09—0,62%) в разной их обработке. Металл образцов очень чистый по его химическому составу в смысле вредных примесей кроме одного образца, в котором фосфора насчитывалось около 0,2%, а в других сравнительно немного. Марганца и кремния — немного, так что главное значение заключалось во влиянии углерода. Сопротивление электрическому току выражено в омах и длина проволоки в английских милях. Это доктор Смит производил весьма тщательные определения сопротивления, так что приведенные в таблице цифровые данныя заслуживают полного доверия. Оказывается, что сопротивление электрическому току возрастает по мере возрастания твердости, и это возрастание сопротивления прямо обратно цифрам, выражающим магнитную восприимчивость. В следующих трех графах записаны суммы отклонения различных металлов в разных их состояниях: в первоначальном, в состоянии отжига и после закалки. Если мы сравним эти три графы, то увидим, что закалка влияет на мягкие сорта гораздо меньше, нежели результат механической обработки в холодном состоянии, следовательно, влияние правой стороны гораздо более, чем левой.

Для тигельной стали сумма отклонений для отжига — 84, а в состоянии холодной обработки в проволоке — 50, почти вдвое менее. При протяжке проволоки оказывается, что в отожженном состоянии она дает большие отклонения, чем в закаленном. В графе, где показано сопротивление разрыву в тон. на □ дм. видно, как сопротивление растет, с одной стороны, по мере увеличения электросопротивления, а с другой, возрастания твердости: чем меньше показания по Юзу в магнитной восприимчивости, тем металл тверже.

Отсюда ясно видно, что механическая обработка действительно влияет на расположение частиц, что в механической обработке мы, главным образом, имеем дело с частичными силами. Эти свойства показывают, что для некоторых случаев, как, напр., для телеграфной проволоки, механическая обработка выразится уменьшением магнитной восприимчивости, и что отжигание, сообщаемое ей, увеличивает

эту магнитную восприимчивость, а также и повышает ее электропроводность. Отсюда невольно напрашивается практический вопрос, как важно при громадных электрических проводах наблюдать затем, чтобы проволока была хорошо отожжена.

Я очень сожалею, что ограниченность времени не позволяет нам входить в очень подробное рассмотрение тех или других сторон обработки, и мы должны ограничиться только беглым взглядом на те результаты, которые дает механическая обработка. Но из тех данных, которые мы могли сгруппировать в сегодняшний вечер, довольно ясно вытекает заключение, что больше всего наше искусство должно быть направлено к урегулированию обработки, и что далеко не всегда или, по крайней мере, гораздо в меньшей степени нам нужно ставить какие - нибудь условия для химического состава литой стали или литого железа, которые нам приходится потреблять, и что гораздо строже нужно относиться к тем способам обработки которым она подвергается на заводах. Мы недавно много рассуждали на съезде по стале-рельсовому и бандажному делу, какая громадная разница замечается часто в рельсах и бандажах, выходящих с одного и того же завода, и как важно в самом деле урегулировать искусство обработки металлов, помимо искусства получать металлы того или другого химического состава. Не достаточно еше получить химически чистый металл, а нужно еще стремиться к урегулированию и упорядочению дальнейшей механической его обработки.

О ТОЧКЕ (*b*) ЧЕРНОВА.

Доклад, читанный Д. К. Черновым на II Всероссийском съезде деятелей по Горному делу, Металлургии и Машиностроению 17-го апреля 1913 года.

В апреле 1868 года в И. Русск. Технич. Обществе я делал свой первый доклад об обработке стали на Обуховском заводе для артиллерийских орудий. Требования, предъявляемые к этим орудиям, очень высоки, с одной стороны, потому, чтобы обеспечить безопасность прислуги, работающей около орудия, а с другой стороны, — чтобы дать заказчику полную гарантию однородности всей партии орудий. Важнейшее требование заключалось в достижении максимума разрывного усилия для материала орудия. В начале вопрос о надлежащей обработке стали с целью сообщения ей максимума прочности оставался совершенно невыясненным, и мне приходилось вырабатывать метод обработки, но зато обработка сварочного металла стояла уже на высокой ступени развития, так что из него получали хороший материал. Генерал Обухов умел хорошо лить тигельную сталь, но обрабатывать ее не умел. Обработка стали по идеям ген. Обухова была неправильна. Это видно из того, что целые партии орудий, изготовленные по утвержденному способу обработки и чертежам, оказывались негодными, выдерживая пробу с легким зарядом и разрываясь при пробе с немного более тяжелым зарядом. При этом совершенно не знали причины таких явлений брака материала. Мне пришлось заняться этим вопросом единолично, так как идеи ген. Обухова были недостаточно ясны и неверны, а помощники были полуобразованные мастера, которые с большим недоверием относились к моим распоряжениям. Таким образом, когда ковка продолжалась до четырех суток с перерывами, а нагрев до 4 часов, то при обработке одного орудия приходилось часто проводить бессонные ночи. На исследование меня натолкнули изменения структуры изломов разных орудий. До этого времени только Сорби наблюдал метеорное железо и исследовал его структуру. Я начал наблюдать шлифы, приготовленные из дула орудий, под микроскопом и разрывы орудий, т.-е. структуру изломов в месте разрыва—с помощью лупы. Эти изломы были весьма различны по своей структуре. Наблюдая изломы и разрывы стали, делал

я сопоставления крупности зерна с механической прочностью, при чем было установлено, что разрывное усилие должно быть приложено к стали с мелкой структурою большее, чем к стали с крупною структурою. Получив такой результат, я стал искать причину приобретения сталью мелкой структуры и, вместе с тем, лучших ее механических свойств.

Опыты велись следующим образом. Брался брусок стали, и вырезались из разных его частей пробы для определения механических свойств. — Так как при ковке металл предварительно нагревается, то, чтобы исключить влияние температуры и определить только действие механической обработки, пробный брусок ковался быстрыми ударами тяжелого молота до разной толщины в различных частях по длине. При этом разницы в температуре концов не было. Структура исследовалась лупою, и я не обнаружил никакого различия в сложении металла во всех сечениях. Попутно я нашел, что не происходит и уплотнения стали, так как удельный вес материала во всех частях прокованного слитка был одинаков. Потом я производил точно такую же ковку, но только при разных температурах. При этом получилась большая разница в структуре, видимая легко с помощью лупы. Из этих опытов я заключил, что изменения в структуре стали нужно отнести к влиянию температуры, но не к собственно механической обработки. Тут же я установил, что это изменение структуры происходит не при всякой температуре, но при некоторой определенной температуре, для каждого сорта стали различной. Передо мной теперь стояла задача найти эти температуры для каждого сорта стали.

Последующими опытами было установлено, что уменьшение плоскостей излома не происходит ниже определенной температуры, при чем эта температура своя для каждого сорта стали. Эту критическую температурную точку и назвал я точкой *(b)*. При нагреве стали ниже этой точки изменения в структуре не происходит, а при нагреве немного выше ее — происходит заметное изменение сложения стали. Нагрев должен быть **немного** выше потому, что весь брусок должен оказаться прогретым равномерно. При этом структура стали почти **аморфна**. Температура, соответствующая точке *(b)*, равна 750° Ц. Так как при такой температуре сталь трудно ковать, то нагрев ведут всегда до более высокой температуры, и приэтом происходит увеличение структурных элементов во время охлаждения металла. Если мы сталь будем нагревать все выше и выше, то при некоторой температуре наступит критическое состояние, характеризующееся тем, что сталь рассыпается, образуя крупные полиэдры; наконец, при еще более высокой температуре наступит плавление стали. Чтобы получить выражение зависимости от температуры степени грубения зерна, я предлагаю по оси ординат отла-

гать [1]) интенсивность кристаллизации, а не крупность кристаллов, как думают некоторые. Интенсивностью кристаллизации я называю свойство стали при нагреве ее выше точки *(b)* развивать зерно в зависимости от быстроты охлаждения. Таким образом, это свойство развивается во времени. Чем больше продолжительность охлаждения, чем дольше мы идем по кривой охлаждения, тем большего развития достигает интенсивность кристаллизации. Так как развитие кристаллов зависит не от температуры, а от времени, то мы с низшей температуры, идя медленно, получили более крупные кристаллы, чем с высшей, идя быстро по кривой охлаждения. Чтобы получить одинаковую структуру, охлаждая сталь с разных температур выше точки *(b)*, нужно, чтобы каждой температуре x_n (на оси абсцисс) соответствовало свое время охлаждения, взятое из данной кривой и равное $\frac{1}{y_n}$. Тогда, например, для температуры x_1 найдется по кривой соответствующее время $\frac{1}{y_1}$ и т. д.

Теперь объясним характер критической температуры, при которой сталь рассыпается. Это точка, обозначаемая мною буквою X, при каковой температуре никакою скоростью охлаждения нельзя получить в стали аморфную структуру, т.-е. ордината этой точки ассимптотически приближается к нашей кривой. Исследование я производил над сталью со средним содержанием 0,55—0,6% C. Нагрев ее определялся по цвету каления, так как в то время не было еще точных пирометров. Первый прибор для измерения высоких температур был предложен Румкорфом: это был термо-электрический пирометр Беккереля-младшего, послуживший прототипом известному пирометру Лешателье. У Беккереля „пару" пирометра составляли проволоки из палладия и платины. Прибор был очень непостоянен, быстро портился от высоких температур и, кроме того, не был точен, так как наблюдались непосредственные отклонения, а не отклонения светового зайчика на особой шкале, как у Лешателье. Таким образом, температуру приходилось определять на глаз — это была температура к р а с н о г о, н е б л е с т я щ е г о к а л е н и я. При определении точки *(b)* была также найдена и другая особенная точка *(a)*, которая характеризуется тем, что сталь нагретая ниже температуры, соотвествующей этой точке, не принимает закалки, но, наоборот, твердая сталь при таком нагреве становится мягче и делается удобной для к о в к и.

Таким образом, этими опытами были установлены следующие характерные для стали точки *(a)*, *(b)* и X, при чем эти точки, как

---

[1]) См. диаграмму (помещены в конце книги) на фиг. III и истолкование ее в статье „Афоризмы". Примеч. ред.

оказалось, не имеют постоянного места, но передвигаются по шкале температур при изменении содержания углерода. [1]) Чтобы выяснить характер перемещения этих точек в зависимости от содержания *C*, мною были произведены опыты их определения для сплавов железа с углеродом с повышающимся содержанием *C* от 0,4% до 1,0% через одну десятую процента, а также и для чистого железа, почти не содержащего углерода. Кривая, характеризующая точку плавления, обозначенную мною буквою (*C*), удаляется от оси ординат в случае чистого железа и приближается к последней с увеличением содержания углерода в сплаве. Линия *X*, характеризующая явление рассыпания при ковке, приближается по мере увеличения содержания углерода в стали к точке (*b*), для случая же уменьшения содержания углерода приближается к линии (*C*). Между линиями (*C*) и *X* сталь становится хрупкою и может рассыпаться при ударе. Точка (*b*) движется подобно предыдущим, с тою лишь разницею, что при меньшем содержании углерода в стали движение этой точки идет быстрее, и более замедленным темпом — с увеличением содержания углерода в стали. Наконец, точка (*a*) движется все время с малою скоростью, и при содержании углерода равном 1,0%, линии перемещения точек (*a*) и (*b*) сливаются совершенно. Это показал точными измерениями Осмонд в 1884—1885 гг. Им же была указана еще линия, расположенная между (*a*) и (*b*), обозначающая путь найденной им критической точки Ar_2. Точки же (*a*) и (*b*) Осмонд назвал точками Ar_1 и Ar_3. Если мы теперь продолжим наши отрезки кривых до 2,0% углерода, т.-е. до теоретической границы стали, и нанесем те же кривые на диаграмму, в которой по абсциссе расположены %% содерж. углерода, а по ординате — температуры, то получим кривые в том виде, в каком они были даны Розебумом [2]).

Теперь определим, что представляет собою точка (*b*). Относительно точки (*a*) нет сомнений — это критическая точка з а к а л к и. Но что же такое точка (*b*)? Зная ее, мы имеем критерий, пользуясь которым можем изготовить орудие с максимумом предела упругости материала. Для подтверждения вышеизложенного был произведен следующий опыт: два стальных орудия были нагреты до температуры несколько высшей, чем точка (*b*), закалены с отпуском в масле и потом охлаждались в мусоре. Производились испытания с переменным зарядом: сначала 20 выстрелов с зарядом 2 фунта, 26 выстрелов с зарядом по 3 фунта, 20 выстрелов с зарядом 4 ф. И наконец, заложили заряд в 4 фунта и 2 ядра; после такой „зверской“ пробы

---

[1]) См. диаграммы (в конце книги) на фиг. I и III. Прим. ред.

[2]) См. фиг. II, там же, повернув ее на 90° против движения часовой стрелки. Прим. ред.

внутренний диаметр орудия увеличился всего лишь на 4 „точки“, т.-е. на 0,04 дюйма. Проба эта, по словам Гадолина, „ужасна“. На этих испытаниях орудий, взятых из партии, перед тем забракованной из-за своих скверных свойств, я мог воочию показать, что такое точка (*b*)!

Теоретическое объяснение этой точки следующее. Кристаллы, как известно, легко колются по плоскостям спайности. Чем крупнее кристаллы, тем резче выгранены в них эти плоскости, и тем легче происходит по ним излом. Отсюда вывод — чем мельче кристаллы, из которых сложена сталь, тем однороднее и лучше в механическом отношении изделие. Трудно, конечно, судить о том, чем вызывается это явление, ибо мы не знаем, каковы силы, действующие между частицами. Можно сказать только одно, — что кристаллы обладают разными свойствами по различным направлениям, а потому при нагревании они расширяются неравномерно по разным направлениям; частицы, наиболее сближенные, расширяются быстрее, а менее сближенные — медленнее. В результате частицы стремятся занять такое положение, чтобы расстояния между ними по всем направлениям были одинаковые; когда такое состояние наступает, должны исчезнуть характерные особенности тела кристаллического, и в результате получается тело аморфное. Если теперь тело, перешедшее при нагревании в аморфное состояние, будет остывать, то начнет происходить снова кристаллизация около некоторых центров — осей кристаллизации. И если такой центр в каком-либо месте зародился, то все ближайшие молекулы располагаются в известном порядке относительно него, и тогда произойдет образование кристаллической структуры. Таким образом, если возникнут центры кристаллизации и благоприятные условия роста для кристаллов, то крупная кристаллическая структура разовьется неминуемо. Если же центров кристаллизации нет, и условия неблагоприятны для образования их, то не будет крупных кристаллов, а будут только микроскопические. Итак, если мы приведем тело в аморфное состояние, то даже без всякого внешнего воздействия сами молекулы образуют центры кристаллизации, при охлаждении около которых при благоприятных условиях начнется строение крупных кристаллических групп. При этом имеет место такое явление, что более значительные кристаллы поглощают меньшие, присоединяя их к себе и ориентируя по своим осям.

Из моих опытов со сталью я вывел следующее. Если нагрев довести до точки (*b*), то получится аморфная структура, если же не дойти до точки (*b*), а остановиться при немного низшей температуре, то останутся неразрушенными старые центры кристаллизации, которые при последующем охлаждени явятся осями, около которых будет происходить группировка частиц. Если же при нагревании

мы перейдем значительно за точку (b), то частицы раздвинутся сильно, получится легкая возможность им перемещаться, и тогда благодаря большой подвижности их при остывании частицы опять легко будут группироваться около своих центров кристаллизации. При этом развитие кристаллов будет представлять функцию времени — чем медленнее остывание, тем крупнее кристаллы. Точно так же и количество центров кристаллизации зависит от скорости охлаждения, находясь с нею в прямой зависимости, т.-е. чем больше скорость охлаждения, тем больше будет образовываться и центров кристаллизации.

Таковы те положения, которые установил я. Осмонд внес в эту простую и ясную область путаницу тем, что все точки (a), (b) и промежуточную между ними он назвал A_1, A_2 и A_3, обозначая одним и тем же знаком разные свойства. Кроме того, он неправильно понял и принял точку (b), отнеся ее к точке X.

ПРЕДИСЛОВИЕ [1]) К СТАТЬЕ „АФОРИЗМЫ ИЗ ОБЛАСТИ МЕТАЛЛУРГИИ СТАЛИ“.

Каждому из нас, следящих за успехами металлургической науки по текущей технической литературе, не могло оставаться незамеченным особенно частое появление научных исследований в области металлических сплавов. Приэтом особенное внимание уделяется вопросам, связанным с явлениями закалки и вообще тепловой обработки стали. Стремление дать возможно полное объяснение этих сложных и довольно темных явлений, несмотря на многочисленность опубликованных в последнее время очень интересных лабораторных работ, к сожалению, привело скорее к еще большему затемнению вопроса, нежели его разъяснению. С целью улучшения такого печального положения дела, один из выдающихся деятелей на металлургическом поприще, профессор Харвардского университета (Cambridge, Massachusetts) Совёр, обратился (письмом от 27 июня 1914) с призывом ко многим лицам [2]), принимающим деятельное участие в разработке вышеуказанных вопросов — дать, хотя бы в кратких словах, категорические ответы на ниже приведенные вопросы, с тем, чтобы сопоставленные в таблицы — они могли бы быть совместно обсуждены и по возможности согласованы между собою.

Вопросы эти формулированы в следующих восьми пунктах:

1) Какое определение даете Вы аллотропии?

2) Какая причина по Вашему мнению вызывает термическую критическую точку A_2 в чистом железе?

3) В каком физико-химическом состоянии находится Fe между критическими точками A_2 и A_3?

4) В каком физико-химическом состоянии находятся сплавы Fe и C между точками A_2 и A_3, когда они раздельны?

5) В каком физико-химическом состоянии находятся сплавы Fe и C, быстро охлажденные от температур высших их критических точек A_3, A_{3-2} или A_{3-2-1}, и каким образом происходит такое состояние?

---

[1]) Написанное Д. К. Черновым собственноручно. (Примеч ред.).

[2]) Приглашение, кроме Д. К. Чернова, получили Arnold, Stead, Howe, dwards, Mc Cance. Rosenhain, Hadfield, Carpenter, Benedicks, Le Chatelier, harpy, Grenet, Robin, Guillet, Burgess и Heyn.

6) Почему закаленная сталь ферро-магнитна?

7) Как Вы объясняете состояние аустенитовое или мартенситовое в некоторых сортах специальной стали после медленного охлаждения?

8) Которая из существующих теорий закалки стали, по Вашему мнению, наиболее удовлетворительно объясняет различные явления закалки?

Получив такое приглашение уже после объявления войны, когда наши почтовые сношения с внешним миром были сильно расстроены, я счел более удобным и соответствующим положению дела вместо категорических ответов на поставленные вопросы сделать несколько отрывистых сообщений в Русском Металлургическом Обществе под общим заглавием „Афоризмы из области металлургии стали" с тем, чтобы потом сделать сводку всего сказанного в общей статье, которая в настоящем виде и представляет мой личный взгляд на положение вопроса о тепловой обработке стали в связи с явлениями закалки.

Как видно ниже, закалка стали для сколько-нибудь ясного ее понимания требует установления основных понятий о силах, действующих в природе, и о формах проявления их в том или ином виде превращений мировой энергии. Так, в различные моменты обработки стали мы встречаемся с явлениями света (рекалесценция), электричества (изменения электропроводности), магнитизма (резкие изменения магнитных свойств), с термическими явлениями (поглощение и выделение теплоты в критических точках), с химическими явлениями (изменение отношений Fe к C и растворимость в кислотах), с силами молекулярного сцепления (изменения механических качеств, изменения плотности, твердость, хрупкость и т. д.).

Для оценки каждого из перечисленных явлений необходимы твердо установленные исходные положения, на которых можно было бы базироваться при объяснении существа того или другого явления, по отношению к стали. Отсюда естественно, что теория закалки или теория вообще тепловой обработки стали каждого отдельного автора должна согласоваться с основными понятиями его о сущности и виде проявления и превращения вездесущей мировой энергии: я говорю „вездесущей" согласно вполне доказанному закону сохранения энергии; а так как такой же закон относится и к материи, то и материя тоже „вездесуща". Здесь возникает вопрос: как распределена существующая от века энергия, есть ли пространства, в которых она, хотя бы временно, отсутствует? Те же вопросы можно поставить и по отношению к материи. Еще вопрос: может ли проявляться в какой-либо форме энергия без участия материи? Если мы останемся пока в области механики, то смело можем дать на последний вопрос о т р и ц а т е л ь н ы й ответ. В самом деле, всякая

механическая сила измеряется лишь тем сопротивлением, которое представляет ее проявлению материя, т. к. основной закон механики: действие равно противодействию, — всегда и везде ненарушим. При этом условие одновременности проявления обоих этих элементов также остается всегда и везде ненарушимо. Однако, оба эти элемента должны быть вполне противоположны по своему существу, так как инициатива явлений всегда исходит от силы, ибо не может возникнуть противодействие, если не появится действие.

Только что высказанные соображения невольно заставляют полагать, что в мире повсюду существует потенциальная энергия, скрытая в недрах наполняющей мир материи; проявление всемирной энергии в различных точках пространства в различных видах ее, при посредстве различных элементов материи и представляет собою всю совокупность мировой жизни, которая при всем своем разнообразии в сущности есть ничто иное, как превращение одного вида энергии в другой. Здесь уместно поставить вопрос: какой же вид энергии можно считать основным, превращения которого в другие виды энергии оживотворяют материю и наполняют мир бесконечно разнообразной кипучей деятельностью сил природы? Подобный же вопрос можно поставить и по отношению к материи, как основному материалу мироздания.

Оба вопроса так же стары, как старо само человечество, и оба они до наших дней не получили удовлетворительного разрешения.

Принимая в основание наших суждений атомистическую теорию строения материи, можно чисто логическим путем придти к удовлетворительному решению многих основных вопросов, связанных с самым существом мировой жизни.

1) Если материя состоит из отдельных атомов, то может ли существовать какая бы то ни было организация материи в какие-либо отдельные массы или группы масс, если не была бы присуща атомам сила взаимного притяжения?

2) Если в действительности существовала бы только несомненно всюду в видимой вселенной проявляющаяся сила всеобщего тяготения, могли ли бы существовать отдельные, не слившиеся в одну общую безформенную массу группы материи?

3) Для возможности организованного строения материи выступает необходимость существования отталкивающих сил, недопускающих полного слияния атомов друг с другом.

4) При существовании в природе разнообразных видов и свойств обособленной материи в виде, т. н., простых тел в химическом смысле, необходимо признать существование, кроме всеобщего тяготения, также и избирательного притяжения между атомами одного рода материи, отличающегося от всеобщего тяготения, и особого для каждого рода материи, чем и обусловливаются различные физи-

ческие свойства последней (сюда же относится явление осмоза); избирательное притяжение проявляется с несравненно большею силою, нежели всеобщее тяготение.

5) Различные по природе простые в химическом смысле тела обладают особою силою, т. наз., химического сродства, которое еще с большею силою проявляется, нежели избирательное притяжение, причем происходят самые разнообразные превращения в свойствах материи, которыми обусловливается и все разнообразие видимой материальной, т. наз., мертвой природы.

6) Кроме материи с вышеупомянутыми присущими ей свойствами, в мире существует оживляющая весь материальный мир энергия, проявляющаяся в непрерывном всеобщем движении материи.

(На этом рукопись обрывается).

АФОРИЗМЫ ИЗ ОБЛАСТИ МЕТАЛЛУРГИИ СТАЛИ.

(Доклад Д. К. Чернова Русскому Металлургическому Обществу, прочитанный в четырех заседаниях в течение 1914—1915 г.г.) [1].

Милостивые Государи!

46 лет тому назад, в 1868 году, я выступил с моим первым сообщением о превращениях в структуре стали и о зависимости механических качеств этой последней от ее строения.

В те времена очень остро стоял вопрос об изготовлении стальных орудий.

В каком положении было стале-пушечное дело в то время, можно видеть из следующего.

Начало изготовления орудий из литой стали относится к 50-м годам прошлого века. В 1855 г. была первая проба новых орудий завода Круппа на Парижской выставке. Однако, первые стальные пушки были неудачны. На заводе Круппа не было еще выработано правильных оснований для изготовления орудий надлежащего качества. При учебной стрельбе часто случались разрывы пушек совершенно неожиданные. В войну Пруссии с Австрией в 1866 году много орудий разорвалось также без видимых недостатков. Наступил кризис вследствие недоверия к стали. Вернулись опять к бронзовым пушкам. В 1867 г. были произведены обширные опыты с заново проектированными бронзовыми 9-ти см. пушками. Однако, введение стальных орудий не остановилось: переменили затворы (как причину разрывов) и завод Круппа продолжал работать над усовершенствованием стальных орудий. Мы, в России, в то время также получали пушки большого калибра от Круппа.

Разрывы стальных пушек при учебной стрельбе меня заинтересовали. Я показал, по исследовании излома, что структура стали в этом случае чрезвычайно неоднородна, так что разрывы мне казались совершенно естественными.

Когда появился перевод на иностранные языки моего доклада 1868 г. (сразу появилось несколько переводов), то данные мною

---

[1]) Печатается в сокращенном виде (см. „Предисловие“ к настоящему сборнику).

Прим. ред.

правила обработки постепенно входили в практику многих заводов.

Вслед за моей работой стали появляться другие теоретического характера. Первым выступил Осмонд. Он основал целлюлярную теорию — она всем известна. Я только укажу, что точкой отправления этого исследования послужили мысли и факты моего доклада. В дальнейшем появились и другие теории. Дело все более и более усложнялось и в настоящее время выяснение подробностей разных теорий даже стало затруднительно. Я остановлюсь на некоторых пунктах моей теории. Целлюлярной и аллотропической теорий я не сторонник. Я должен сказать, что данныя, которые были включены в моем первом докладе Техническому Обществу, и те мысли, которые были выражены там, до сих пор встречают недостаточное понимание. Конечно, в этом моя вина. Я должен был гораздо раньше выступить в защиту своих идей, но при моих занятиях, да и в мои годы я не мог письменно изложить замечания и поправки к тем мыслям, которые были выставлены мною.

Я теперь могу признать, что мне недолго осталось быть среди вас и мне хотелось бы высказать те соображения и те теоретические объяснения явлений, главным образом, имеющих место в тепловой обработке стали, которая представляет самую важную сторону сталелитейного дела, чтобы не пропало даром то, о чем я столько лет думал. Вот с этой целью я выступаю перед вами. Я не могу составить какой-нибудь трактат с систематическим изложением всех тех мыслей, которые я желал бы сообщить, и потому я избрал гораздо более легкий способ — излагать отрывками, касаясь тех сторон, которые наиболее меня заставляли жалеть о том, что я не могу публично изложить и не могу мои мысли напечатать. Вот почему я прошу снисхождения, если мое изложение будет иметь характер отрывочных замечаний о тех или других сторонах обработки и ее теории.

Сначала я всетаки должен повторить те основные фактические данныя, на которых можно строить, не скажу теорию, а гипотезу. Без фактов нельзя ничего строить, это будет постройка без фундамента. Теперь уже так много произведено опытов для установления фактов, что они совершено бесспорны. На объяснении этих фактов я хотел бы остановиться.

Сталь — самый важный металл между всеми другими металлами, к которым мы прибегаем для удовлетворения наших потребностей — промышленных и военных, потому что ни в каком другом металле мы не можем встретить таких высоких механических качеств, которые в настоящее время от металла требуются не только в артиллерии, но и в обыкновенном машиностроении. Ни один металл не обладает такими качествами, как сталь. Шутка сказать — можно делать такие

9*

заряды, которые дают давление чуть не до 3000 атмосфер. Орудия эти выдерживают и при достаточной длине ствола могут бросить снаряд на 30 верст, при чем скорость полета снаряда может достичь 1000 метров в секунду. И средством от такой артиллерии может служить только броня из той же стали. Снаряды и броня ведут между собою борьбу. И как быстро все растет! Японская война показала, как разрушительно действует артиллерия с расстояния в 8 верст, а теперь уже приходится говорить о десятках верст. И броня в свою очередь делается такою, что никакой снаряд пробить ее не может. И все это дает нам сталь.

Когда мы исследуем металл на его прочность, мы берем брусок и подвергаем его разрыву на прессе. Что происходит, когда мы растягиваем брусок и разрываем? Какие силы удерживают те два куска, которые мы получаем при разрыве? Это действуют силы сцепления, между-молекулярные силы.

Теперь, что же оказывается? Мы видим, что для одного и того же, по химическому составу, материала, напряжение, под которым происходит разрыв, меняется. Одна и та же сталь при некоторых условиях разрывается, при усилиях втрое, вчетверо более слабых. Если мы рассмотрим излом, то увидим, что изломы, несмотря на один и тот же химический состав, так же будут различны.

Прочность металла зависит от вида излома: чем мелкозернистее излом, тем обыкновенно выше качество стали. Однако — берем ли мы сталь в кованном куске или в литом состоянии — излом всегда имеет вид тела кристаллического, с тою лишь разницею, что в одном случае кристаллы крупны, в другом — мельче. Отчего зависит бо̀льшая или меньшая кристалличность тела? Для выяснения этого необходимо было произвести наблюдения. В былые времена считали, что это зависит от ковки или прокатки самих по себе. На самом деле оказалось, что это не так. Сильно прокованный кусок или сильно прокатанный так же могут обладать небольшою прочностью и крупной кристалличностью в изломе. Оказывается, что не в ковке или прокатке самих по себе здесь дело, а дело здесь главным образом в теплоте. Все эти пертурбации в строении стали объясняются теплотой, при которой сталь подвергается обработке.

Всем известна та диаграмма соотношения между строением, качеством и теплотой обработки. Я предупреждаю, что эта диаграмма сильно устарела. Вот как мною были выражены результаты наблюдений. (См. диаграмму на фиг. III).

Здесь мы видим точки (a) и (b) и точку плавления (c), и еще одну особенную точку, которую я называю точкой (X). Что эти точки означают, мною уже не раз объяснялось и всем известно.

Точка (a) есть некоторая определенная температура, до которой нужно нагревать сталь, чтобы она потом получила закал. Если мы

немного не догреем до этой температуры, то сталь не закалится, т.-е. при быстром охлаждении не сделается твердой. Если же температура достигла точки (*a*) и было произведено быстрое охлаждение, то получается закал.

Точка (*b*) есть другая температура, при которой сталь получает какое-то внутреннее превращение в своей структуре. Если мы нагреем сталь выше этой точки, затем оставим обыкновенно охладиться, и после этого сломаем, то строение излома не будет похоже на тот излом, который был раньше. А если мы не догреем сталь до этой точки, то при охлаждении не заметим изменения в структуре, т.-е. какая структура была, такой она и останется. При нагревании все дальше и дальше, т.-е. все выше и выше точки (*b*) получаются все бо̀льшие и бо́льшие изменения структуры, если охлаждать сталь после нагрева с одинаковой скоростью. Скорость охлаждения есть второй фактор. С одной стороны — высота температуры нагрева, а с другой — время охлаждения. Оба эти фактора, при увеличении их, действуют в одну сторону. При увеличении температуры и времени охлаждения, получается более крупная кристалличность структуры.

Точка (*X*) отвечает температуре, при которой сталь делается хрупкой. Точка (*c*), как сказано, отвечает температуре плавления.

Все почти явления, отвечающие этим точкам, были мною замечены впервые. При определении их, я пользовался нагреванием стали в печах, дававших температуру меньшую, чем современные калильные печи.

На диаграмме (фиг. I) взаимоотношения между всеми точками (*a*, *b*, *X* и *c*) схематически указаны для стали средней твердости 0,5 — 0,6$^0/_0$*C*, твердой (2$^0/_0$ *C*) и совсем мягкой (железо). Для разных сортов стали, с разным содержанием углерода, расстояния между точками, как видим, изменяются: точки перемещаются то вправо, то влево с разной скоростью. В общем путь, который был мною замечен, при движении этих точек таков. С повышением содержания углерода, точки (*c*), *X* и (*b*) [точка (*a*) мало изменяется от содержания углерода] движутся влево, но не с одинаковой скоростью. Так, в мало-углеродистом железе точки (*c*) и (*X*) сливаются, но постепенно расходятся с увеличением углерода, когда точка (*X*) движется с большею скоростью, нежели точка (*c*). В очень твердой стали точки (*a*) и (*b*) сливаются, постепенно расходясь с уменьшением в стали углерода: здесь точка (*b*) двигается с гораздо большею скоростью, нежели точка (*a*), которая почти не изменяется.

Остановимся несколько на точке (*b*). Для того, чтобы наглядно выразить зависимость структуры стали от температуры нагрева — с одной стороны и скорости охлаждения — с другой, я здесь (см. фиг. III) начерчу кривую с крутым подъемом. Каждой абсциссе

этой кривой, т.-е. каждой температуре нагрева x_1, x_2, x_3 . . . , лежащей выше точки (b), отвечает своя ордината y_1, y_2, y_3 . . .

Я должен сказать, что эта кривая с самого начала была неправильно понята, и у нас, и заграницей, особено в Англии. Проведенные мною ординаты y_1, y_2, y_3... приняли за величины зерен, отвечающие температурам x_1, x_2, x_3... На самом же деле эти ординаты отвечают не величинам зерен, а величинам пропорциональным степени развития зерен или интенсивности кристаллизации при температурах x_1, ,x_2, x_3. Кристаллизация зависит от двух факторов: температуры нагрева и скорости охлаждения после нагрева. Если бы мы пожелали при разных температурах нагрева x_1, x_2, x_2... получить одинаковую структуру, мы должны были бы с повышением температуры нагрева за точкой (b), соответственно увеличивать скорости охлаждения, или, что все равно, соответственно уменьшать время охлаждения. С этой точки зрения, ординаты y_1, y_2, y_2 . . . отвечают скоростям охлаждения, при которых нагрев до разных, отвечающих им, температур x_1, x_2, x_3, приводит к одной и той же структуре.

Для температуры (точки) X, ордината $(Y) = \infty$ (кривая ассимптотически приближается к ней). Уж это одно показывает на неправильное приписывание этим ординатам значения величин зерна. Я никогда не мог предполагать, что можно приписать мне такой взгляд, по которому кусок стали при сильном нагреве (до точки X) может получить безконечно большое зерно.

Всем известно, что при обработке стали необходимо стремиться получить мелкокристаллическую структуру, ибо только такая структура придает металлу высшие механические качества.

Почему это так, я немного остановлюсь на этом.

Сталь — тело кристаллическое. Какой бы кристал, или какую бы группу кристаллов мы ни взяли, мы найдем во всякой кристаллической массе, так-называемую, спайность, т.-е. плоскости или направления, по которым наблюдается слабое сцепление молекул. По другим направлениям кристалл выдерживает гораздо большее напряжение, нежели по плоскостям спайности. При этом, чем крупнее кристалл, тем он легче разрывается. Примерами кристаллов с ясно выраженной спайностью являются: каменная соль, исландский шпат, гипс. Особенно ярко спайность выражена в слюде. Кристаллическое тело нельзя иначе разсматривать, как систему, в которой молекулы распологаются на неодинаковых расстояниях по разным направлениям и, следовательно, и сопротивление тела по разным направлениям также неодинаковое. Иное дело — тело аморфное. Ориентировка молекул в аморфной массе может быть изображена одинаковыми расстояниями по всем направлениям и, следовательно, и сопротивление тела по разным направлениям в этом случае должно быть также одинаковым.

Вот почему необходимо стремиться получать при обработке аморфное сложение, а если и не аморфное, то приближающееся к таковому.

Каким образом совершается переход кристаллической структуры в аморфную?

В литературе мы встречаем указание, что при нагреве стали до точки (*b*), которую Осмонд называет точкою A_3, крупные кристаллы переходят в мелкие, причем этот переход совершается как бы путем раздробления крупных кристаллов на мелкие Я этого никогда не понимал. Трудно допустить такое толкование, так как сталь в это время теряет упругость и вязкость и потому никакое раздробление кристаллов не может иметь места. Я представляю себе дело иначе.

При нагревании кристаллической массы, расстояния между молекулами непрерывно увеличиваются. Однако, это увеличение расстояния происходит не по всем направлениям одинаково. В тех местах кристаллов, где молекулы сближены, расстояния увеличиваются скорее. Наступает, наконец, момент, когда расстояния между всеми молекулами становятся одинаковыми. А если такой момент наступит, то тело превращается в аморфное и вот точка (*b*) и есть тот момент, когда от расширения при нагревании кристалическая ориентировка исчезает, и сталь из кристаллического состояния переходит в аморфное. При дальнейшем повышении температуры (за точкой *b*) уже нет причины, чтобы по какому-нибудь направлению расширение было иное, чем по другому направлению, расстояние между молекулами будет равное, и структура должна остаться аморфной вплоть до точки плавления.

Что происходит при охлаждении, как начинается кристализация? Как только начнется понижение температуры, молекулы станут сближаться. Если тело, по природе своей, аморфное, тогда все частицы его слепятся одинаково. Если же тело кристаллическое, то частицы сближаются, соблюдая известный закон ориентировки и направления осей, соответствующий кристалической форме данного вещества.

Однако, для образования кристаллов необходим известный импульс. Этот импульс бывает от сосуда, в котором происходит кристаллизация, или им может быть, как в растворе соли, какое-нибудь постороннее тело. Импульс дает зародыш кристаллу. При понижении температуры, импульс как бы сзывает кристаллы, которые готовы выделиться из раствора.

Остановимся несколько минут на росте кристаллов. Если взять, напр., раствор квасцов, то можно получить из него хороший кристалл в форме правильного октаэдра. Я опускаю на шелковинке кристалл (правильный октаэдр) в раствор и ставлю его в книжный

шкаф, чтобы прикрыть от пыли. Медленное испарение будет причиной выделения соли, которая будет отлагаться на кристалле: кристалл будет расти чрезвычайно правильно. Вот что значит импульс: он сзывает частицы. Какая то сила сзывает их и они отлагаются равномерно, до того равномерно и правильно, что центр нового кристалла совершенно совпадает с центром старого. Мало того. Если я обломлю угол у кристалла и опущу его в раствор, то он сначала будет усиленно залечивать себя, а затем уже начнет расти.

Вернемся, однако, к стали и ее кристаллизации. Как только начинается охлаждение, в различных точках массы появляются центры кристаллизации, число которых находится в зависимости от быстроты действия причины, вызывающей кристаллизацию, в данном случае— охлаждения Я склонен признать известную жизнь в кристаллах и точно также, как и в живой природе, семейства одного рода обладают разной силой роста, так и тут. В одних центрах кристаллизация сильная, в других нет и никто не может этого объяснить. Каждый центр при своем возникновении намечает первоначальное направление осей кристалла. Ближайшие молекулы притягиваются и садятся. Этот процесс уже давно был замечен мною и объяснен (см. доклад 1878 г. „О структуре литых стальных болванок").

Чем больше будет быстрота охлаждения, тем больше образуется центров кристаллизации. А чем больше будет центров, тем каждому из них придется меньший район действий, и потому тем более мелкая зернистость строения в конце концов получится.

Так как процесс кристаллизации совершается во времени, то если мы совсем отымем этот необходимый элемент процесса (т. е. охладим моментально), тогда никакой ориентировки не произойдет и таким образом зафиксируется аморфная структура. Но ведь на самом деле мы никогда не может достигнуть обсолютно моментального охлаждения, а потому вполне естественно, что в полном смысле аморфного сложения мы получить не можем, хотя— чем медленнее охлаждение, тем меньшее число первичных центров появляется в начале охлаждения и тем крупнее получаемое кристаллическое сложение.

Так как нельзя достигнуть обсолютно моментального охлаждения, так как нельзя совсем отнять время для полного предупреждения процесса кристаллизации, то точка (*b*) на самом деле имеет отвлеченный характер.

При охлаждении, кристаллизация происходит лишь до точки (*b*). Ниже точки (*b*) пропадает свобода перемещения молекул. Я должен, впрочем, оговориться, что не исключаю возможность кристаллизации и ниже точки (*b*) и даже при обыкновенной температуре, но в продолжительные промежутки времени, либо под влиянием сотрясений, периодических изменений температуры и т. п.

Если нагрев стали производить не доходя до точки (*b*), тогда старая ориентировка молекул не исчезает, она остается и, когда наступает охлаждение, то действуют старые центры кристаллизации, притягивая молекулы на старые места. В результате никакого изменения структуры не происходит.

Вот как я понимаю смысл и значение точки (*b*).

Милостивые Государи! В те времена, когда мне приходилось впервые наблюдать за превращениями в стали и в частности определять положение точки (*b*), не существовало приборов для измерения высоких температур. Поневоле приходилось о степени нагрева металла судить на глаз, по цвету каления. Для сортов средней твердости стали (0.5 — 0.6% *C*) определение положения точки (*b*) на глаз не представляло трудностей. Не то для мягкого железа. Я был неопытен и не заметил, что железо, взятое мною для опытов, было уже испорчено (железо старых колосников — пережженное, окисленное). При постепенном нагревании (и обратном каждый раз охлаждении), железо это упорно продолжало оставаться при старом сложении вплоть до очень сильного нагрева, который я определил белым калением. Вот почему первоначально для точки (*b*) мягкого железа мною дана была температура белого каления, когда на самом деле, как это впоследствии подтверждено было более точными опытами, она лежит ниже 1000°.

В связи с точкой (*b*) я должен остановиться еще на факте, отмечаемом многими авторами, что структура стали, нагретой до температур, лежащих выше точки (*b*), зависит также от продолжительности нагрева при данной температуре. Из этого факта делается вывод, что кристаллизация (рост зерна) происходит при нагревании стали, а не при охлаждении. Здесь я считаю необходимым обратить внимание на невозможность поддерживать в течение продолжительного времени одинаковую температуру без всяких колебаний. На самом деле происходят периодические небольшие понижения и повышения температуры от какого-то среднего уровня. А раз это так, то при всяком понижении ее в пределах между точками x_1, x_2... и точкою (*b*) начинается стягивание и ориентировка кристаллической структуры, связанная с образованием молекулярных комплексов (зерен и пластинок) бо́льшей плотности, нежели гравиметрическая плотность взятого образца. При периодическом наступлении колебаний температуры вверх, не могут исчезать следы группировок и ориентировок, происходящих во время периодических же понижений температуры, и таким образом кристаллизация прогрессирует (зерно растет) при каждом колебании температуры вниз. Это можно сравнить с храповым колесом в часах. Спусковое колесо в часах вращается все в одну сторону, хотя якорь при качании маятника спускается на один зуб.

Замечу также, что по моим представлениям процесс структурного превращения в точке (b) не связан с химическим превращением между Fe и C, а представляет собою чисто физическое явление. Необходимо различать химическую структуру от физической, которые часто смешиваются. Что я подразумеваю под этим смешением?

Если мы опустим кристалл какой-либо соли в насыщенный раствор другой, более растворимой соли и притом изоморфной с ним,—напр., кристалл калиевых квасцов в насыщенный раствор марганцовых квасцов,—то он будет продолжать наростать совершенно также, как рос в растворе калиевых квасцов; опуская затем этот кристалл последовательно в растворы квасцов хромовых, железных, аммиачных, получим кристалл, пестрый по цвету и по химическому составу, но вполне однородный в кристаллографическом отношении. Отсюда следует, что в сложных аггрегатах пестрых по химическому составу кристаллов может происходить сегрегация и перемещение отдельных химических компонентов массы без нарушения ее кристаллической организации. Это вполне применимо и к сплавам железа с углеродом, которые все изоморфны и кристаллизуются в правильной системе—преимущественно в виде октаэдров, хотя чистое железо кристаллизуется только в кубические формы.

Я полагаю, что в точке (b) химического процесса нет. Здесь происходит поглощение теплоты при нагревании, означающее чисто физический процесс, который можно уподобить плавлению твердого вещества—переход из твердого состояния в жидкое (аморфное).

О точке (a) я много говорить не буду: все признают, что для того что бы закалить сталь нужно нагреть ее не ниже известной температуры; это и есть точка (a). В отличие от точки (b), точка (a) на диаграмме движется очень медленно при различном содержании углерода, который мало влияет на ее передвижение. Я определял нагрев на глаз и нашел, что чем тверже сталь, тем меньше нужно ее нагревать для того, чтобы она приняла закалку. Примеси в стали как сера, фосфор, кремний повышают передвижение, отодвигают точку (a) направо. Этот вопрос не вполне еще выяснен, но я полагаю, что передвижение существует.

Какие химические превращения означает точка (a)? Что именно здесь происходит при нагревании и охлаждении. На это я постараюсь ответить в дальнейшем, пока ограничусь лишь тем, что явление закалки, которое связано с точкой (a), чрезвычайно трудно поддается объяснению и темно до сих пор.

Сравнивая мою диаграмму с известною диаграммою Роозебоома, остается прибавить только превращение A_2, которое открыл Осмонд при помощи пирометра Лешателье, и гипотетическую кривую для выделения цементита. Только две прибавки—и диаграммы сходятся.

Вот я хочу Вам рассказать, как появилась новая точка A_2 между точками (*a*) и (*b*) и что собственно она означает. Когда Осмонд открыл новую критическую точку в стали, он ее смешал с другой; сначала он назвал ее (*a*), но затем вследствие неудобства мелкого шрифта назвал ее через А, при чем и мои точки (*a*) и (*b*) он подвел под А, различая эти три точки цифрами 1, 2 и 3, помещенными за буквою. Таким образом он три различные критические точки обозначил одним родовым знаком. Последняя пертурбация A_2 представляет отношение железа и стали при нагревании и охлаждении к магнитному полю. Поэтому нельзя считать удачным определение A_2, как особого аллотропического изменения железа потому лишь, что оно в этой точке изменяет свои магнитные свойства. Это, помоему, большое предубеждение, что железо чувствительно к магниту только потому, что оно железо. Почему говорится, что магнитные свойства железа меняются под влиянием углерода. Железо и углерод, вместе взятые, могут быть чувствительны к магниту и совершенно размагничены. Подобным же образом могут влиять на железо и другие элементы,—напр., кислород. В природе есть готовые магниты—это магнитные железняки, представляющие, как известно, не чистое железо, а окислы. Эти естественные магниты настолько общеизвестны, что из за них сложилось убеждение, что где только содержится железо, его можно открыть при помощи магнитной стрелки. У Перси встречается один рассказ на эту тему. В одном захолустном городке открылся источник, ключ. Говорили, что это целебная вода, железистая, будущее богатство, если эксплоатировать. В этом городке не было врача и решили, что анализ может произвести аптекарь. Последний поступил просто: к бутылке с водою поднес магнитную стрелку, и когда вода действия на последнюю не оказала, решил что в воде не содержится железа. Я позволил себе привести этот пример, чтобы показать, как у нас смотрят на магнитные свойства железа. Это предрассудок, что железо само по себе, как таковое, хороший магнит.

Возьмем такой пример: на некоторые металлы, как медь, алюминий, марганец, олово и друг., магнит совершенно не действует. Однако, из этих немагнитных металлов можно приготовить сплав, чрезвычайно хорошо поддающийся намагничиванию. Так, Гейслер натолкнулся случайно на возможность приготовления сплава из меди (60 %), марганца (25—28 %) и алюминия (12—15 %), обладающего хорошими магнитными свойствами. Если этот сплав нагреть до 170°, то он становится немагнитным; если держать его между 80°—150° то он сохраняет магнитные свойства и, как указал Гадфильд, делается постоянным стабильным магнитом. Можно прибавлять и другие металлы вместо алюминия, напр., олово, которое тоже обладает свойством делать сплав меди и марганца магнитным.

Это обстоятельство дает мне право говорить следующее: факт приготовления из немагнитных металлов и сплавов—магнитных следует объяснять общими свойствами материи реагировать определенными колебаниями молекул на действия магнитного поля. Действие на расстоянии как-будто отвергается, но ведь мы принимаем действие через всемирный эфир. Нам известно, что магнитные силовые линии суть вихри и что молекулы материи под их влиянием совершают колебательные движения. Металлы, когда они находятся в магнитном поле, также подвергаются магнитным толчкам. Это мне кажется общим законом природы, могущим объяснить явление магнитной индукции в связи с явлениями световыми и электрическими. Световые колебания иные, чем электрические, но они действуют через один и тот же эфир, и раз мы признаем электромагнитную теорию света, явления световые и электрические могут быть объединены в одну общую группу. Здесь, нужно думать, происходят только гармонические колебания так, как мы замечаем колебания звуковые: тот предмет, который способен принять известный тон, при возбуждении данного тона, сам звучит. Примером может служить изохронный маятник: если пустить один маятник в ход, то будут ходить и другие маятники. Нечто подобное или совсем подобное мы видим в струнах какого-нибудь инструмента, хотя бы виолончели. Если мы прижмем струну так, чтобы получить „до“ или „соль“, и проведем смычком, то возбудим подобный же звук в других струнах, если они будут так прижаты, что должен был бы получиться тот же звук. Происходит созвучие. Если же остальные струны прижаты хоть немного не верно, получается диссонанс, и струны не шелохнутся. Нельзя ли применить такое же объяснение к явлению магнитной индукции? В этом случае необходимо принять в рассмотрение также силы, действующие между молекулами вещества и удерживающие последние на определенном расстоянии друг-от-друга. Эти внутримолекулярные силы, или силы сцепления частиц, действуют, как известно, обратно закону тяготения, имеющему место для больших масс, напр., для небесных светил. Там действие обратно пропорционально квадратам расстояний, а здесь, между молекулами, совершенно другое. Там при сближении массы еще более притягиваются, а здесь, напротив, оказывают сопротивление этому сближению. Молекулярные силы противодействуют сближению и противодействуют удалению молекул от их нормального положения равновесия. Таким образом различают молекулярные силы притяжения и отталкивания; силы отталкивания препятствуют сближению, а силы притяжения раздвижению. Силы притяжения, по мере раздвижения частиц, увеличиваются, пока не наступит предел, соответствующий разрыву данного тела. Явление разрыва при растяжении проще всего объясняется, если представить себе, что молекулы металла как бы связаны пружи-

ной. В состоянии равновесия эта пружина не сжата и не растянута. Когда мы раздвигаем молекулы, она увеличивает сопротивление; с другой стороны, при сжимании она будет сопротивляться этому сжатию.

Нечто подобное происходит и под действием силовых линий магнитного поля, если только они способны сообщаемыми данному телу, напр., какому-либо металлу или сплаву, магнитными толчками вызвать в молекулярных силах последнего созвучие, создать определенную напряженность. При магнитной индукции, молекулярные силы находящегося в магнитном поле куска металла или сплава известным образом реагируют на колебательные движения частиц под влиянием магнитных толчков, и металл вследствие этого делается магнитным. Если мы видим, что металлы различно относятся к намагничиванию, то это зависит от величины или массы молекул, расстояния между центрами молекул, между перифериями молекул и от внутреннего напряжения. Если мы у магнитного тела изменим массы молекул, изменяя его химический состав, оно может сделаться немагнитным и наоборот. То же самое произойдет, если тем или другим путем изменим расстояние между молекулами или напряжение молекулярных сил. Поэтому вполне допустимы и возможны случаи, когда изменение магнитных свойств металла совершается под влиянием одной лишь температуры. Такой именно случай и представляет чистое железо, при нагревании которого массы молекул остаются, конечно, без всякого изменения, но зато увеличивается расстояние между молекулами, а в связи с этим изменяется и напряжение. Последние два фактора до некоторой температуры изменяются так, что могут отвечать на магнитное влияние, когда становятся возможными колебания под действием магнитных толчков силового поля. Но, наконец, наступит такой момент, когда железо вследствие совокупного влияния обоих упомянутых факторов выйдет из такой возможности. Такое изменение магнитных свойств железа и происходит в точке A_2, открытой Осмондом.

Однако же, нет никакой необходимости приписывать потерю способности к намагничиванию аллотропическому превращению железа, раз в точке A_2 изменений кристаллографического строения последнего не происходит. Неверно и то, когда приписывают железу в аллотропическом состоянии β или γ необычайную твердость закаленной стали. Закаленная сталь действительно чрезвычайно тверда и хрупка, но ведь в нагретом состоянии, когда железо будто бы переходит в состояние β или γ, оно не твердо. Некоторых смущает остановка с поглощением теплоты при нагревании в точке A_2, но это не есть исключительный признак аллотропического превращения, а вообще перехода одного вида энергии в другой.

Перехожу теперь к рассмотрению явления закалки стали. Жюльен, который работал в начале 60-х годов прошлого века, первый ясно

выразил мысль, что при нагреве до красного каления происходит перемена в строении стали, а вместе с тем перемена состояния железа и углерода. Эта перемена, по теории Жюльена, связана с поглощением теплоты. Состояние углерода в этой области анормально, как он выразился. Нормальным для углерода Жюльен считает аморфное состояние, которое, однако, при нагревании переходит в кристаллическое состояние, уподобляясь алмазу. Железо же наооборот, из свойственного ему нормально кристаллического состояния при красном калении переходит в аморфное. Если мы раскаленное до-красна неуглероженное железо (сталь) подвергнем медленному охлаждению, то железо перейдет при этом в свойственное ему при обыкновенной температуре кристаллическое состояние, а углерод — в амфорное. Аморфный углерод мягок, кристаллическое железо тоже мягко. Если же быстрым охлаждением удается задержать превращения железа и углерода, то последний сохранится в стали в состоянии алмаза. При медленном охлаждении стали, нагретой до высокой температуры, поглощенная теплота выделяется наружу, а в случае быстрого охлаждения означенного выделения теплоты не происходит. И вот эта-то невыделенная теплота производит, согласно Жюльену, изменения в твердости, обусловленные закалкою. Я отмечаю это не потому, что данная теория удовлетворительна, я хотел лишь показать, как шаг за шагом вырабатывалось настоящее представление об этом явлении. Выделение теплоты, на которое впервые обратил внимание Жюльен, в настоящее время с точностью определяется при помощи инструментов для тепловых изменений.

Первоначально я вполне присоединился к взгляду Жюльена. Я не останавливался тогда на вопросе о закалке, я не был тогда практиком, и то, что говорил Жюльен мне казалось справедливым. Теперь—другое дело. Мною в свое время были определены качественно критические точки стали, но количественно эти точки за отсутствием пирометров не могли быть измерены. Значительно позже это сделал Осмонд, который с помощью пирометра Лешателье показал, какой температуре соответствует та или другая критическая точка. Но при этом Осмонд дал моим точкам свое особенное толкование, приписав твердость закаленной стали, главным образом, железу в его аллотропическом состоянии β, а впоследствии — и γ.

Согласно моему определению, точка „a“ есть та температура, до которой нужно нагреть сталь, чтобы последняя при быстром охлаждении закалилась. В таком случае имеются три фактора, которые существенны для получения закалки, не считая, конечно, содержания углерода: 1) температура, до которой нужно нагреть сталь, 2) температура, до которой ее затем следует охладить и 3) требуемая скорость охлаждения. Если мы нагреем сталь до температуры точки „a“ или даже выше, чтобы быть уверенными,

что сталь действительно приняла эту температуру, и затем будем медленно охлаждать сталь, то закалки не получится, так как не соблюдены все три условия. Температура, до которой нужно охладить сталь, а равно и скорость охлаждения, достаточная, чтобы получить закалку, определяются практикою.

Если мы сталь нагреем выше точки „*a*“ и достаточно быстро охладим после этого, то она станет твердой и хрупкой. А если мы закаленную сталь начнем снова нагревать, то найдем предел, при нагреве до которого сталь теряет крайнюю твердость и хрупкость и получает отпуск, т.-е. делается вязкой. Вот и оказалось, что если эта предельная температура будет достигнута при быстром охлаждении, то получится закалка, соответствующая этому охлаждению. Подобными же опытами устанавливают верхнюю температуру отпуска, при которой почти совершенно теряется влияние предшествовавшей закалки, и быстрое охлаждение до которой, с другой стороны, не вызывает еще закалки. Нижний предел отпуска я обозначаю точкою „*d*“, а высший—точкою „*e*“. Точке „*d*“ соответствует теммпература 200°, а точке „*e*“ температура 450 — 500°. Теперь посмотрим, какие свойства приобретает закаленная сталь. Сталь эта получает меньший удельный вес, меньшую плотность, объем больший, чем незакаленная сталь и значительную твердость, величина которой впрочем зависит от углерода: чем выше содержание углерода, тем сильнее сказывается последнее свойство. Попутно с приобретением крайней твердости и хрупкости, закаленная сталь иначе относится к действию магнитного поля, чем незакаленная: будучи закалена, сталь становится мало чувствительной к магнитному влиянию. Но если держать закаленную сталь продолжительное время в сильном магнитном поле, то ее можно намагнитить; зато после продолжительного намагничивания в такой стали, как известно, магнетизм удерживается чрезвычайно долго. Вместе с тем закаленная сталь оказывает значительно большее сопротивление электическому току, чем незакаленная. Хрупкость закаленной стали выражается в том, что она лишена способности оказывать сопротивление при ударе. Если закаленный брусок испытывать статической нагрузкой, то он может выдержать много, но динамической упругости такой брусок не имеет и не выдерживает притом ни малейшего изгиба. Это особенно сказывается на закаленных лезвиях, которые, не будучи подвергнуты отпуску, сильно крошатся. Если мы закаленный твердый брусок стали положим на две опоры, то даже маленький ребенок ударом молотка может разбить брусок, до того он хрупок, благодаря энергичной закалке. Все это позволяет думать, что вопрос о твердости закаленной стали и связанной с ней хрупкости есть вопрос молекулярных сил по преимуществу.

Я уже имел случай указать, что молекулярные силы бывают двоякого рода: силы отталкивающие и притягивающие. Многочисленные опыты показывают, что мы имеем полное право предполагать существование этих сил. Я наглядно изобразил это соотношение молекулярных сил, проведя аналогию с действием пружины. Казалось бы, что всякое твердое тело в нормальном состоянии представляет больше сопротивления, чем в случае приложения внешних сил. Между тем, если растягивать кусок металла, то при дальнейшем растяжении требуется все бо́льшая и бо́льшая сила: в момент растяжения внутренние силы в теле как бы растут. Точно так же, когда мы хотим сдавить, сжать предмет, то чем дальше, тем бо́льшую силу нужно употребить. Это дает нам некоторое представление о том, как связаны между собою молекулы. В момент равновесия они чрезвычайно податливы. Собственно говоря, всякая нагрузка, даже самая малая, вызывает смещение частиц; расстояние между частицами увеличивается, и сейчас же увеличиваются вместе с тем и силы сцепления. Очень точные исследования показали, что при растяжении даже маленький груз дает соответствующее удлинение. Покоящееся тело находится как бы в безразличном состоянии, но попробуйте сдавить его или раздвинуть, — оно оказывает тогда сопротивление crescendo.

При процессе закалки в стали как-раз достигается предел, до которого представляется возможным раздвинуть частицы одну от другой. Это видно из того, что при интенсивной закалке брусок нередко лопается, дает трещины при охлаждении, а это означает, что расстояние, на котором сталь при закалке стремится удержать частицы, превышает иногда предельную величину молекулярного сцепления. Если представить себе, какие силы действуют в физических частицах, расставленных на такое расстояние, что они дальше не могут двигаться без нарушения сил сцепления, то станет понятно, почему появляется хрупкость.

Чем выражается живое сопротивление бруска? Если мы возьмем груз веса Q, свободно падающий с высоты h, то Qh будет выражать механическую работу, приходящуюся на данный брусок. Последний должен поглотить эту работу, сгибаясь под ударом падающего груза, и поглощение этой работы представляет работу внутренних молекулярных сил. В результате верхние слои бруска подвергнутся сжатию, а нижние растяжению; средний же слой, проходящий через центры тяжести всех поперечных сечений, несмотря на искривление, сохнанит свою первоначальную длину: этот слой в продольном разрезе дает, так-назыв., нейтральную линию. Обозначив среднее напряжение в подвергнутых сжатию слоях для сопротивления на 1 кв. мм. через „q“, а в растянутых слоях через „p“ и

среднюю длину пути, совершенного соответствующими частицами ерез „s“, можно написать:

$$\Sigma qs + \Sigma ps = Qh.$$

Если брусок обладает идеальною упругостью, то он после удара выпрямляется и подбрасывает груз Q. А если указанное „s“ для некоторых слоев превышает силы сцепления, то брусок искривляется. Таковы условия, чтобы брусок выдержал удар. Представим себе, что частицы, благодаря закалке, настолько удалены одна от другой, что совершенно не в состоянии подвинуться, чтобы не выйти из пределов взаимного притяжения. Что мы будем наблюдать в таком случае? Величина s будет бесконечно - малая, q и p для сопротивления на 1 кв. мм. тоже весьма незначительны даже для высших сортов стали. Сталь не сможет сопротивляться, и удар разобьет брусок, несмотря на то, что твердость его и велика. Мы такое изделие не могли бы употреблять в дело; для его исправления необходимо уничтожить чрезмерное напряжение частиц. Это достигается последующим слабым нагреванием до дочки „d“ или немного выше; после такого отпускания сталь становится немного мягче и гибче. При определенной температуре отпуска, сталь приобретает большую способность выдерживать деформации не разрушаясь. Яркий пример этому можно видеть в часовой пружине, работающей в свернутом состоянии много лет—десятки и даже целую сотню лет, без заметных изменений при стягивании и распускании. Еще более поразительно следующее, на что я хотел обратить ваше внимание. Когда я занимался в Эрмитаже, хранитель его предложил мне посмотреть толедский клинок. Оказалось, что когда император Александр II, будучи наследником, был в Толедо, ему там поднесли в подарок клинок шпаги. Замечательно то, что эта шпага помещается в небольшой коробке. И вот, когда открыли крышку, оказалось, что толедский клинок лежал внутри свернутый в виде восьмерки. На вид клинок казался шириною около 30 см., а толщиною — 3 — 3½ мм. (у меня не было с собою инструмента, и я смерил его наглаз). Эта шпага лежит в таком неудобном положении с 1849-го года и совершенно не потеряла своей первоначальной прямизны.

Чрезвычайно интересен вопрос: почему, когда мы отпускаем сталь дальше и дальше до температуры 450°, то наступает резкий перелом и теряются все эти упругие качества? С другой стороны, объем стали, по мере ее отпуска, все время уменьшается, и когда сталь получает полный отпуск, то удельный вес ее получается как и до закалки. Если мы обратимся к химическому анализу этого явления, то так называемый, углерод закала переходит понемногу в углерод карбида. Если мы начнем нагревать закаленную сталь и будем следить за скоростью ее разогревания при различных тем-

пературах, то заметим, что до 200° нагревание идет медленно, а затем быстро возрастает. Выделяется теплота, и это продолжается почти до 450° и дает заметную волну на кривой нагревания Осмонда. Исследования Гейна в Шарлоттенбурге (1906 г.) показали, что и в химическом отношении наблюдается волна — именно по большей растворимости отпущенной стали как по сравнению с неотпущенною, так и с отожженною, при чем вершина волны приходится против стали отпущенной до температуры 400°Ц. Таким образом и предположение о постепенном увеличении количества карбида Fe_3C не может удовлетворительно объяснить изменение свойств стали при отпускании. Так, напр., развитие чрезвычайно большой упругой гибкости, тягучести и сжимаемости, так сказать каучуковых свойств, при отпускании стали приблизительно до 300°Ц. (до синего цвета побежалости), не может быть объясняемо тем, что большая часть углерода уже вступила снова в соединение с железом, образовала карбид, и только небольшая часть его осталась в виде углерода закала. В таком случае при дальнейшем развитии процесса следовало бы ожидать еще большего повышения вышеназванных свойств; однако, замечается совершенно обратное — свойства эти почти исчезают после полного отпускания, тогда как до появления синей побежалости они постоянно возрастали.

Поэтому, не ограничиваясь высказанными до сих пор разными учеными для объяснения этих фактов гипотезами, можно взглянуть на явления закалки и отпускания с другой точки зрения, не прибегая к предположению об особом изменении состояния железа независимо от углерода, или состояния углерода независимо от железа. Подобно тому, как мы рассматривали изменения структуры стали, связанные с точкою „*b*“, в зависимости от того или другого относительного расположения и группировки сложных частиц стали, можно рассматривать и явления закалки и отпускания, как результат того или другого расположения и группировки атомов в сложной частице стали.

Закалку стали с последующим полным отпуском можно повторять с одним образцом большое число раз, и если, не злоупотребляя нагревом, нагревать, закалять и опять отпускать, то окажется, что если мы будем это делать в благоразумных пределах, сталь при этом совершенно не теряет свои свойства.

Теперь несколько слов об изменении длины и объема изделий при закалке. Мои опыты с бронепробивающими снарядами показали, что сталь с 0,8% углерода при хорошей закалке с небольшим отпуском получает удлинение около 1/3% (0,33%). Удельный вес уменьшается на 1%, и, значит, объем металла увеличивается на столько же, т.-е. приблизительно в три раза больше чем длина. В данном отношении сталь представляет удобный материал для исследования

междучастичных расстояний, не переходя за пределы действия частичных сил. Свойства стали при этом конечно будут меняться; если, вместе с тем, примем во внимание, что силы частичного сцепления по определению Фессендена пропорциональны пятой степени расстояния между центрами молекул: $\left(\frac{A}{D}\right)^{\frac{5}{3}}$ — то станет ясно, что все свойства стали находятся в зависимости от расстояния между центрами молекул. Еще Томлинсон означил модуль упругости выражением $E\left(\frac{A}{D}\right)^{\frac{7}{3}} = \text{Const.}$, где E—модуль упругости, A—расстояние между центрами молекул и D — диаметр молекулы; это выражение представляет аналогию с предшествующим.

Объем молекулы примеси, если он больше объема молекулы металла, к которому примесь прибавляется, сильно портит металл. Это мнение, приписываемое Roberts-Austin'у, высказано еще до него Савченком. Известно, что присутствие кальция делает золото, свинец и марганец хрупкими, изменяя объем молекулы и расстояние между центрами. Я говорил по поводу этого расстояния, что этим путем из немагнитных металлов можно сделать сплав, чувствительный к магниту, и говорил также, каким образом железо или никкель при известных условиях могут потерять свои магнитные свойства. Упругие и пластичные свойства стали точно также должны зависеть от расстояния между центрами молекул или физических частиц. Но сталь содержит в себе углерод, и вот этот углерод, сам по себе не богатый по своим свойствам, играет большую роль в улучшении механических качеств железа, как бы сжимая атомы и тем увеличивая силу сцепления частиц.

При закалке стали, перегруппировка атомов в частице может совершаться преимущественно в промежутке между точками „d“ и „e“, приблизительно от 200° до 450°, при чем каждою из промежуточных температур обусловливается известная степень атомной свободы для восстановления устойчивого равновесия в частице, которое не могло совершиться при закалке вследствие слишком быстрого охлаждения. В зависимости от различного взаимного расположения (уравновешенного или напряженного) атомов в частицие изменяется и ее объем. Вместе с тем относительное положение (центральное, периферическое или промежуточное) атомов углерода между атомами железа в частице стали обусловливает при растворении последней в кислотах различное отношение замещаемого железом кислотного водорода— in statu nascendi — к более или менее доступным атомам углерода и, следовательно,—образование углеводородов, углеводов или углистых осадков.

По наблюдениям, сделанным на Обуховском заводе, обнаружилось, что если закаленную и слабо отпущенную сталь подвергнуть действию азотной кислоты, то, если брать холодную кислоту, получается черный осадок, углерод остается в виде налета; если же брусок растворяется в горячей кислоте, то все улетучивается. То же самое произойдет, если подействовать на сталь холодною кислотою и затем начать подогревать ее; если кислоту взболтать, то черный налет исчезает и без нагревания, и остается неокрашенная жидкость. Что получается при растворении стали в азотной кислоте? Что это за явление, если при растворении в холодной кислоте остается углерод в виде черного бархатного налета?

Милостивые Государи! По моему мнению лучше всего прибегать в таких случаях к аналогии с тем явлением, которое мы можем наблюдать всегда. В наше время все занимаются фотографией, поэтому моя аналогия всем будет понятна. Если мы возьмем пластинку и положим в проявитель до действия на нее света, то ничего на ней не проявим. Положим ее затем в фиксаж—светочувствительный слой только растворится и больше ничего. А вот если возьмем экспонированную пластинку и опустим в проявитель, то сейчас же начнется проявление. А если мы положим эту пластинку в фиксаж, то окажется, что растворяется серебро. Что это за явление? Каково отношение серебра к брому после экспозиции? Дан импульс к разложению. Серебро и бром находятся как бы в состоянии неустойчивого равновесия. Углерод и водород, в случае действия азотной кислоты на закаленную и слабо отпущенную сталь, стоят в таком же отношении друг-к-другу, как серебро и бром после экспозиции . . . .

. . . .

...Я нарисовал вам возможность воздействовать на закалку стали, чтобы дать понятие, какого рода явление здесь совершается. Я имею очень много сказать по этому поводу, но постараюсь дополнить при обработке доклада. Я не писал ответа на то письмо, [1]) про которое вам говорил, так как это было уже в начале войны. И я раньше решил сделать сообщение Металлургическому Обществу, чтобы видно было, как можно ответить на вопрос о сущности закалки стали.

---

[1]) Подразумевается письмо Совёра, напечатанное в конце наст. сборника (см. „Предисловие“ к настоящей статье). Примеч. ред.

ПИСЬМО ПРОФ. Д. К. ЧЕРНОВА РЕДАКТОРУ Ж. Р. М. О. [1]).

Глубокоуважаемый

Михаил Александрович.

Уже более года тому назад меня поразила тяжелая форма инфлуэнцы, от которой до сих пор не могу хорошенько оправиться. Будучи почти изолирован от света и друзей, я очень мало следил за технической литературой. С начала марта и до сих пор (с коротким перерывом) я живу в Ялте и случайно на этих днях узнал, что в первой книжке журнала Р. М. О-ва за нынешний год помещена заметка *А. Л. Бабошина*—„Еще о точке (*b*) Чернова". Я тотчас же выписал эту книжку сюда и нашел в ней, помимо упомянутой статьи, довольно много для себя интересного. Самое близкое ко мне—это заключительные слова заметки *П. Я. Салдау*, которые вынуждают меня взяться за перо.

При этом я должен оговориться, что здесь, в Ялте, у меня нет под руками никаких источников для справок или ссылок на каких-либо авторов и т. п., так как имею при себе только две книжки: отдельный оттиск моих „Трудов" (из № 1-го Журн. Р. М. О-ва за 1915 год) и первую книжку (№ 1—2) того же журнала за 1916 г. Таким образом пишу напамять и, если в чем ошибусь, прошу простить. Если мне удастся вернуться в Петроград, то впоследствии могу восполнить недостающее.

Нужно признаться, что уже давно, и даже очень давно, мне следовало бы выступить на защиту моей бедняги (*b*). Кто только не нападал на нее? Еще нужно удивляться, что она—вот уже скоро наступит ее 50-ти летний юбилей—избитая со всех сторон, все-таки живет и живет. Хотя в моих литографированных записках по „Сталелитейному делу", а в особенности на моих лекциях в Артиллерийской Академии, я подробно останавливался на существенной стороне явления перехода структуры стали из кристаллической в аморфную, но, в виду очень ограниченного распространения этих записок,

---

[1]) Перепечатано из Ж. Р. М. О. за 1916 г. с некоторыми дополнениями см. „Предисловие" к настоящему сборнику). Примеч. ред.

а также и обычной забывчивости слышанного на лекциях и на докладах в ученых обществах, и на специальных съездах (приходилось мне и там говорить о том же), до сих пор в специальных сферах продолжают циркулировать порою очень оригинальные истолкования этого явления. Иногда встречаются даже направленные по моему адресу наставления — как надо понимать и как надо бы называть то, что я разумел под знаком (*b*). Были и такие (и теперь есть), которые отрицали какое бы то ни было научное значение моих теоретических соображений относительно структурных превращений в стали, отмечая лишь важное практическое их значение. Те же истолкователи значения точки (*b*) Чернова теперь приходят к заключению, что при данном мною толковании точки (*b*), она теряет и практический смысл. Таким образом, не только моя точка, но и я сам уничтожен!

Немудрено, после этого, что, говоря о превращениях структуры стали, совершенно игнорируют мое существование; то и дело ссылаются на новых и новых открывателей Америки, при чем происходит нередко полнейшая путаница понятий. Так, например, перегрев смешивают с пережогом, отжигание с отпусканием, физическую структуру с химическою, интенсивность кристаллизации с величиною зерен [1]), мою точку (*b*) с моею же точкою *X* на моей диаграмме, мою точку (*b*) приравнивают к точке Ar_2 (?!) Осмонда и т. п. Утверждают, напр., что точка (*b*) установлена мною, как точка, выше которой не следует ковать и катать сталь (?!), тогда как я говорил лишь о невозможности уплотнения стали в области температур выше (*b*), когда сталь становится несжимаемою, уподобляясь жидкости, обладает полною пластичностью; что при температурах низших (*b*) она поддается уплотнению, так-что удельный вес ее можно довести до 8 (стр. 36 „Труды“) [2]), и что ковка при температурах ниже точки (*b*) применима практически *лишь для мелких изделий*.

Относительно положения намеченных мною критических точек: *a*, *b*, и *X* на термометрической шкале также встречаются разноречия. В большинстве случаев упускаются из вида, что в то время, когда я начал мои работы (1866—67 г.г.), мне приходилось определять степень нагрева на глаз, тогда еще недостаточно опытный, и при-

---

[1]) Для одной и той же ординаты „*y*“ — в зависимости от скорости охлаждения — величина зерен очень разнообразна.

[2]) В 1906 г. Brunton в Journ. of the Iron and Steel Institute (Vol. LXX, p. 102) сообщил, что после 14—15-кратной протяжки проволоки через коническний глазок волока, сталь уплотняется до удельного веса = 7,998 и вместе с тем достигается высокий предел временного сопротивления; затем при дальнейших пропусках удельный вес и сопротивление разрыву начинают понижаться.

меняться в этом отношении к заводской терминологии кузнечных мастеров [1]).

При этом считаю необходимым упомянуть *о белом калении*, соответствующем точке (*b*) для железа. Дело в том, что это, неосторожно сделанное определение, переведенное по шкале Пулье на градусы (около 1300°), ввело в недоумение Осмонда, первого пошедшего (спустя около 20 лет) по моим следам исследователя структурных превращений в стали, как только появился пирометр Лешателье. С пирометром в руках Осмонд уже легко мог выразить в градусах температуры для всех особенных точек моей шкалы (*a*, *b*, и *X*). Если бы Осмонд исправил мою ошибку слишком высокой оценки степени каления, соответственно моей точке (*b*) для железа,— никакой путаницы не было бы впоследствии. Однако, его метод определения этих критических точек был совершенно отличным от моего метода. Точка (*a*) мною определялась по появлению закалки; точка (*b*)—по превращению крупно-кристаллической (физической) структуры в едва заметную мелкокристаллическую (по излому); точка *X*—по наступлению распадения сильно перегретой стали на мелкие зерна (по рассыпанию) при ковке. Осмонд [2]) прямо остановился на термических явлениях: поглощении и выделении теплоты во время нагревания и охлаждения стали [3]). Работая с пирометром Лешателье, он дал нам чрезвычайно изящные, прекрасно вычерченные

---

[1]) В 1867г., в бытность мою в Париже, я обратился к Румкорфу за советом относительно выбора пирометра для моих работ. Он отнесся очень внимательно к моей просьбе и рекомендовал термоэлектрический пирометр Беккереля (младшего), как наиболее пригодный для завода. Термопара (палладий—платина) с полным оборудованием была мне вскоре затем выслана Румкорфом на Обуховский завод. К сожалению, работать с этим прибором в заводской мастерской оказалось решительно невозможным: магнитная стрелка гальванометра (скорее гальваноскопа нежели гальванометра) подвергается весьма сильному влиянию лежащих и передвигаемых больших стальных масс в мастерской, наблюдение отклонений короткой стрелки непосредственно, при очень мелких делениях лимба, само-по-себе чрезвычайно неудобно и ведет к большим ошибкам; к тому же сама пара, изготовленная из губчатой платины и палладия, была недостаточно постоянной; так-что, после нескольких неудачных экспериментов, этот прибор — прародитель пирометра Лешателье, был оставлен без употребления. Надо надеяться, что пирометр этот до сих пор сохраняется в заводском магазине, как историческая реликвия.

При упоминании о моем обозначении температур на глаз, обыкновенно проглядывает некоторый намек как бы на ненаучность моих приемов при работе, в особенности со стороны тех лиц, которые в настоящее время просиживают целые дни в готовых, хорошо оборудованных лабораториях, не будучи обременены ответственными обязанностями постоянного, с раннего утра до вечера, наблюдения и руководства работами в заводских мастерских.

[2]) В сотрудничестве с Вертом.

[3]) Предсказано Jullien'ом.

диаграммы, ясно отмечающие все критические точки на термометрической шкале для различных сортов стали, железа и чугуна. При этом как нельзя лучше подтвердились мои указания на непостоянство положения всех указанных мною критических точек и на перемещение их в зависимости от состава стали (для чистой углеродистой стали — от содержания углерода), при чем как направление перемещений, так и характер их (с различными скоростями) вполне подтвердились. Термический анализ Осмонда привел к открытию еще одной особенной точки, расподоженной между точками (*a*) и (*b*). Эта новая точка, соответствующая изменению магнитных свойств железа во время нагрева, не могла быть мною замечена, без помощи соответствующих приборов, и всецело принадлежит Осмонду.

В виду того, что эти три последние точки, располагаясь для железа на далеких друг-от-друга разстояниях, по мере перехода к твердой стали, вследствие различия своих скоростей, постепенно сближаются и, наконец, совсем совпадают в одну общую точку, Осмонд дал этим трем точкам одно родовое обозначение буквою (*a*), в предположении, что это—та сложная точка, утрояющаяся [1] при переходе от твердой стали к железу, которая обозначена мною буквою (*a*) на моей диаграмме. Отмеченная же мною буквою (*b*) точка, по мнению Осмонда, должна относиться к тому моменту при нагревании, который, судя по соображениям Осмонда, характеризуется началом распадения стали на зерна (т.-е. моя точка *X*) вследствие начинающегося частичного плавления цемента, связующего сложные целлюли (гранули—по его целлюлярной теории), при чем Осмонд предложил обозначить этот момент буквою B' [2]).

Ближайшею причиною такого выделения моей точки (*b*) из тройной точки Осмонда (*a*) явилось не мое определение точки (*b*), а мое обозначение на глаз ее температуры для железа белым калением, тогда как третья волна диаграммы Осмонда для железа заканчивалась около 950°, и во всяком случае ниже 1.000°. Более глубокая причина разногласия лежит, однако, в различии методов или признаков определения критических точек. Что касается моей точки (*a*), то поставленный мною в основу ее определения признак—минимум температуры необходимой для получения закалки—совпадает с первою волною (a_1) диаграммы Осмонда и никаких разногласий здесь нет. По отношению к точке (*b*) вопрос осложняется, так как моя точка обозначает понятие отвлеченное, теоретическое, практически неуловимое.

---

[1]) Вследствие этого утроения Осмонд подразделил ее на: $a_1 ... a_2 ... a_3$. Впоследствии, для удобства печати, строчное *a* заменил заглавным *A*, присоединив, для обозначения нагревания и охлаждения, буквы *c* и *r*.

[2]) См. мемуар Osmond'а: Sur le point (*b*) de Tchernoff, в Annales des Mines, 1888.

До сих пор я ни разу ни у кого в литературе не встретил ясного и правильного понимания установленного мною момента перехода кристаллической структуры в аморфную. Большинство авторов обходит этот вопрос молчанием; иные повторяют с некоторыми вариантами, высказанный Осмондом взгляд на это явление [1]). Взгляд этот, после различных смутных догадок и гипотетических соображений, выражен очень просто и в коротких словах: при возвышении температуры до некоторого предела крупнокристаллическая структура превращается в мелкозернистую [2]) от прямого самораздробления крупных кристаллов (или зерен) на мелкие. На мой взгляд очень трудно себе представить, — как может раздробляться пластичная, вязкая масса раскаленной стали или железа, выдерживающая под ударами молота, без малейших надрывов, самые разнообразные и быстрые, вполне неупругие деформации? Кроме того, возникает вопрос: какому процессу отвечает при этом поглощение теплоты, отмечаемое в этой точке замедлением нагревания металла? Почему при этой некоторой температуре кристаллы не могут во время нагревания оставаться крупными и раздробляются, а при обратном переходе через эту точку закристаллизовавшаяся после высокого нагрева сталь сохраняет крупнокристаллическое строение, не раздробляясь? Какому процессу при обратном прохождении через этот критический пояс отвечает выделение теплоты, поглощенной при нагревании? На все эти вопросы никаких определенных ответов не встречается.

Мой личный взгляд на превращение, обозначаемое точкою (b), заключается в следующем.

Кристаллическая структура характеризуется тем, что молекулы, или, так называемые, физические частицы (того или другого вида и величины — группы молекул), расположены в известном порядке, в соответствии с направлением и относительною длиною кристаллографических осей той системы, к которой принадлежит кристалл. Такой порядок в расположении молекул, или частиц, обусловливает различие во взаимных между ними расстояниях для разных направлений как параллельных, так и нормальных по отношению к осям. В согласии с сим находятся и различные свойства кристалла по разным направлениям в отношении его осей: оптические, термические, электрические, механические, отчасти даже химические.

В практическом отношении важно, в данном случае, хотя на минуту остановиться на механических свойствах. Некоторые вещества особенно отличаются способностью образовать, выражаясь

---

[1]) В последнее время появилась новая теория образования аморфных прослоек или перегородок вследствие внутренних сдвигов.

[2]) По Howe—в фарфоровидную.

современным языком, ассоциации молекул, принимающие иногда очень своеобразные формы: пластинчатые, листовые, столбчатые, волокнистые и т. п., причем замечается более прочное сплочение частиц или молекул между собою внутри каждой ассоциации и сравнительно слабое сцепление соседних ассоциаций между собою, так что в механическом отношении поверхности соприкасания их представляют наиболее слабые места и направления, по которым легче всего происходит излом или растрескивание (раскалывание) кристалла. Эта, так назыв., спайность иногда бывает очень слабо заметна, а иногда вполне совершенна (напр., в слюде), и в таком случае сила сцепления в плоскостях спайности очень мала. Вообще, чем больше величина кристалла и чем медленнее его рост, тем рельефнее выражается свойственная его составу спайность.

Вот почему, с практической стороны, желательно недопускать вообще в стальных изделиях, особенно-же в таких ответственных, как артиллерийские орудия, снаряды, брони и т. п. предметы, развития кристаллической структуры, тем более — крупнокристаллической. Идеальным строением в этом отношении представляется структура аморфная, сплошная однородная масса, молекулы или частицы которой все по отношению одна к другой находятся в одинаковых расстояниях и расположении. Соответственно этому, логически вытекает одинаковость всех свойств такой массы по всем направлениям; такое тело вполне изотропно. Однако, нельзя сказать, что частицы изотропного тела расположены без всякого порядка, если они все *одинакового* диаметра. Если мы допустим, что всякая молекула, или физическая частица, имеет форму шарообразную, как самую простую из всех геометрических форм, то самое плотное и равномерное распределение их в массе может быть иллюстрировано плотно уложенною кучею ядер одного калибра; плотнее этого сложить их невозможно. Здесь мы видим совершенно правильный геометрический распорядок: каждое ядро находится в вершине равносторонней треугольной пирамиды, — самого простого из всех многогранников.

Теперь мы подходим непосредственно к вопросу: каким-же образом кристаллическая масса может сама собою перестроиться в аморфную?

Более полустолетия тому назад, исследования французского академика Физо показали, что коэффициент расширения кристалла неодинаков для различных направлений по отношению его различных осей и, кроме того, претерпевает изменения в своей величине по мере возвышения температуры нагрева. В недавнее время французский академик Лешателье издал обширную монографию „La Silice“, где подробно описаны результаты исследований неравномерного расширения кристалла горного хрусталя по различным напра-

влениям и внезапного увеличения объема кристалла при некоторой температуре (кажется около 570°). Не вдаваясь в подробности этого вопроса, здесь необходимо лишь подчеркнуть эту неравномерность расширения кристаллов, чтобы иметь право сказать, что при нагревании кристаллической массы стали весь ее структурный распорядок и группировка частиц и молекул постепенно сглаживаются, т.-е., что расстояния между более сближенными молекулами будут быстрее увеличиваться нежели между менее сближенными, кристаллическая ориентировка будет все более и более стушевываться и, наконец, при некоторой температуре совершенно исчезнет всякий след ее, все молекулы будут уже на равных расстояниях по всем направлениям [1]), масса примет аморфное сложение. Вот этот момент и соответствующая ему температура и есть точка (*b*) Чернова.

Так как в этом размягченном аморфном состоянии, при полной пластичности хотя и не расплавленного металла, нет существенного отличия от жидкости (это было особенно подчеркнуто в свое время Маннесманом в его известной работе о цементации, в Verhandl. d. Vereins z. Bef. d. Cew. in Preussen 1879, 1[tes] Heft, S. 31), мы вправе по аналогии с введенными уже терминами: твердый раствор, жидкий кристалл, упругая жидкость (для газов), назвать такое состояние твердою жидкостью [2]). В самом деле ведь здесь совершилось превращение, аналогичное с переходом в другое аггрегатное состояние, и вполне естественно, что это явление сопровождается изменением объёма [3]) и поглощением известного количества теплоты, отмечаемое замедлением нагревания на диаграмме Осмонда.

Остановимся теперь на дальнейшей судьбе полученной аморфной структуры. Раз наступила полная равномерность в расположении молекул, — нет основания допустить неравномерность расширения по какому либо направлению при дальнейшем повышении температуры; следовательно, вполне естественно полагать, что аморфное строение должно сохраняться неизменным. Если дальнейшее нагревание, не доходя до расплавления металла, будет остановлено

---

[1]) Ассоциации молекул представляют как-бы особые кристаллы и в момент, соответствующий быстрому расширению каждой ассоциации, — промежутки между ними совершенно заполняются и исчезают.

[2]) Такой термин несколько лет тому назад, я встретил у А. А. Байкова.

[3]) Сожалею. что нет под руками исследований Honda об объемных изменениях при переходе стали через критические точки. Кстати сказать, интересно было-бы проследить за оптическими свойствами горного хрусталя при нагревании; не происходит-ли исчезновение кристаллической ориентации его при 570°, когда объем его быстро увеличивается, так как кристаллический минерал имеет больший удельный вес, нежели полученное из него аморфное стекло.

и температура будет поддерживаться в точности на одной и той-же высоте, то и в этом случае нет никакого повода к каким-либо изменениям аморфной структуры. Как только температура металла начнет понижаться, одновременно с этим появляются центры кристаллизаии, около которых группируются начинающие сближаться между собою окружающие их молекулы или частицы, ориентируясь соответсвенно намеченным из центров осям образующегося кристалла (или прерывчатого кристаллита).

Здесь уместно обратить внимание на близкое сходство намечаемой ориентировки будущих кристаллов в аморфной массе с подготовлением будущих твердых кристаллов в жидкой массе — в виде жидких кристаллов. Как здесь, так и там ориентированное положение остается незафиксированным. Как там, при взбалтывании намеченные кристаллы расплываются без следа, так и здесь — во время ковки или прокатки намеченные ориентировкой кристаллиты опять теряются в аморфной массе также без следа (если одновременно с намечением ориентировки не происходило сегрегации в твердом растворе [1]), о чем сказано ниже). Так-же, как при затвердении жидкого кристала [2]), происходит действительный переход в другое аггрегатное состояние с изменением объема и с выделением скрытой теплоты плавления, так и здесь: зафиксирование намеченных (ориентировкою из центров) будущих кристаллов совершается при понижении до температуры (b) с изменением объема и с выделением теплоты, отмечаемым волною Ar_3 Осмонда. Отсюда следует, что как аморфная структура, так и незафиксированная кристаллическая ориентация при температурах выше (b) находятся в положении неустойчивом. Таким образом, в охлажденном куске стали остается та структура, которую он имел при обратном переходе через точку (b).

Здесь считаю возможным установить некоторое условное примирение между точкою (b) Чернова и точкою A_3 Осмонда: если прямой переход (при нагревании) через точку (b) обозначать через ($+b$), а обратный (при охлаждении) через ($-b$), тогда: $Ac_3 = (+b)$; $Ar_3 = (-b)$; $A_3 = (b)$ [3]).

Установив внешнее равенство между обоими обозначениями, остановлюсь на внутреннем их различии. Как известно, при термическом анализе обозначение критических точек на термометрической шкале может воспроизводиться саморегистрирующим пирометром автоматически, совершенно независимо от того — какой именно

[1]) Т.-е. при эвтектоидной стали.

[2]) При охлаждении до температуры плавления данного вещества.

[3]) При таянии льда в воде, температура воды должна быть выше 0°Ц., а при замерзании — должна быть ниже 0°. Оттого температура ($+b$) должна быть $> b$, а ($-b$) $< b$ (перегрев и переохлаждение).

процесс происходит в испытуемом образце, лишь-бы он был сопровождаем термическими явлениями; существо-же процесса контролируется путем химического, физического или механического исследования образца, подвергнутого той или другой термической обработке. В частном случае, структурные превращения, отвечающие первой и третьей волне диаграммы Осмонда, контролируются преимущественно, даже можно сказать почти исключительно, металлографическим путем. Этот последний дает непосредственные указания на степень однородности химического состава металлической массы образца, степень пестроты его, форму и характер распределения составных частей (компонентов), в случае происшедшей сегрегации, одним словом, обнаруживает химическую структуру металла. Необходимо несколько остановиться на различии между химическою и физическою структурою какой-либо кристаллической массы сложного состава [1]).

Известно, что изоморфные соединения, поставленные в условия одновременного выделения из раствора или из расплавленной смеси, могут дать совершенно правильно образованный кристалл пестрого химического состава. Путем последовательной кристаллизации в различных растворах изоморфных солей можно получить правильно образованный кристалл из слоев различного цвета и состава. Можно получить, напр., хорошо образованный кристалл (ромбоэдр) наростанием натровой селитры на ромбоэдр известкового шпата (см. Химическая Минералогия Браунса). В виду того, что железо и углерод изоморфны, так как оба кристаллизуются в формах правильной системы, также как и их взаимные соединения и твердые растворы одного в другом, вполне естественно полагать, что превращения химической структуры железо-углеродных сплавов, происходящие в них сегрегация, диффузия, могут совершаться при полном сохранении кристаллической (физической) структуры металлической массы [2]). Отсюда следует, что рисунок вытравленного шлифа, напр., данного куска стали не может служить показателем его физического строения. С другой стороны, вид излома стали, показывая непосредственно более или менее развитое крупно или мелко-кристаллическое сложение ее, — не может служить показателем химической структуры.

Здесь и выступает внутреннее различие между точками A_3 Осмонда и „b“ Чернова: так как химическое превращение (сегрегация) совершается медленно и последовательно [3]), то явление волны

---

[1]) L. Gages. „Métallurgie du fer“. (Paris, 1898.). Définition et modification be la structure physique. T. II, pp. 123—130.

[2]) Отсюда—двойной отжиг перед охлаждением в масле и перед закалкой.

[3]) Необходимо отметить, что линия *SE* диаграммы почти совсем не сопровождается волнами, несмотря на выделение карбида.

A_3 и ее смысл означает превращение, присущее точке „b" Чернова, а не A_3 Осмонда.

К вышеизложенному необходимо прибавить несколько слов относительно степени устойчивости обоих структур и их взаимоотношений. Так, физическая структура железа устойчива до температуры около 920—910° (точка + b или третья волна диаграммы Осмонда [1]). По мере перехода от железа к стали, с возрастанием содержания углерода, устойчивость физической структуры понижается, так как температура превращения и высота волны Ac_3 уменьшается, вместе с тем появляется первая волна (+ a) или Ac_1, соответствующая распадению карбида и образованию твердого раствора углерода в железе, с чем вероятно соединяется и некоторое частное изменение в ориентации молекул или частиц в том-же направлении, в котором оно начинается для чистого железа в точке Ac_3, потому, что образование твердого раствора должно сопровождаться уже частичным переходом в другое аггрегатное состояние, т.-е. в аморфное. Это последнее предположение может быть оправдано тем, что интенсивность процесса, соответствующего третьей волне диаграммы Осмонда, постепенно убывает насчет усиления процесса соответствующего первой волне и как-бы переносится к этой последней вместе с приближением к ней. В результате этого перемещения происходит уже совпадение обоих волн в одну высокую волну, когда содержание углерода достигает 0,9% и точка (b) сливается с точкою (a). Таким образом, при содержании углерода 0,9% и выше, обе структуры — физическая и химическая — претерпевают существенные изменения одновременно, при чем оба эти изменения [2]) связаны с поглощением теплоты, отчего общая их волна отличается большою высотою.

Остается еще проследить дальнейшую изменяемость химической структуры под влиянием тепловой обработки. Во-первых, казалось бы, нет поводов к сегрегации образовавшегося раствора при дальнейшем повышении температуры, так как растворимость в железе углерода и обыкновенно встречающихся в углеродистой стали примесей с повышением температуры увеличивается. Остановка нагрева в точности на одной и той-же температуре также не должна бы вызывать никаких дальнейших изменений в химической структуре. Совсем иначе при понижении температуры: после высокого нагрева тотчас-же начинается сегрегация [3]) и с тем большею интенсивностью,

---

[1]) Burgess и Crowe.

[2]) Т.-е. растворение или выделение из раствора Fe_3C или C в феррите и переход в аморфное состояние из кристаллического или обратно.

[3]) Менее всего в эвтектоидной стали.

чем выше был нагрев и тем законченнее совершается, чем медленнее идет охлаждение.

Здесь уместно остановиться на кажущемся расхождении с опытом, неоправдывающим предположение о неизменяемости химической и физической структуры при выдерживании стали в печи при одной и той-же температуре. Это противоречие действительно только кажущееся, так как практически невозможно поддерживать абсолютно одну и ту же температуру в течении сколько-нибудь продолжительного времени без колебаний, то в ту, то в другую сторону от заданной. В виду же того, что интенсивность кристаллизационной ориентации, также как и сегрегации (для жидкой стали — ликвации) во время понижения температуры проявляется с большею силою и скоростью, нежели противоположные им выравнение и диффузия при повышении температуры, — каждый период колебаний последней оставляет по себе все более и более нарастающий след как кристаллической ориентации, так и сегрегации [1].

Так как кристаллическая ориентация фиксируется, с выделением скрытой теплоты, лишь при переходе через точку (b при охлаждении, то при ковке или прокатке в районах температур высших (b) она постоянно нарушается, и физическая структура металла под ударами молота возвращается в аморфную. Не то происходит с химической структурой: обособляющиеся группы выделяющихся из твердого раствора (так назыв., аустенита), начиная от высоких температур (сначала быстро и затем замедляясь), углеродистых соединений вплоть до критической точки Ar_1 Осмонда, при ковке и прокатке не возвращаются в раствор, а лишь подвергаются деформации в зависимости от изменений формы обрабатываемого металла, что ясно видно на рисунке вытравленного шлифа прокованного или прокатанного образца. Отсюда видно, что данный образец стали может обладать чрезвычайно мелкокристаллическим (мелкозернистым) строением при крупном рисунке на шлифе [2]), тем не менее такое смешение физической структуры с химической продолжается и поныне.

Переходя к критической точке A_2 Осмонда, остановлюсь на ее особенности, установленной весьма точными измерениями Burgess и Crowe, заключающейся в том, что в противоположность точкам A_1 и A_3 — положение ее, по крайней мере для железа, не зависит

---

[1]) Это хорошо иллюстрируется на изломе и шлифе вынимаемых из печи полос цементной стали, которая в течение нескольких дней остается под влиянием колеблющейся температуры цементовальной печи.

[2]) Не могу не отметить, что единственный раз встретил только у Хейна (Heyn) упоминание об этом (в 1902 г.), но оно прошло как-то незамеченным для других.

от скорости нагревания, или охлаждения, — она остается на одном месте как при нагревании, так и при охлаждении, иначе говоря, $Ac_2 = Ar_2$. Отсюда следует, что исчезновение или восстановление магнитных свойств данного образца железа зависит лишь от самой температуры, как таковой, обусловливающей известные соотношения между массою (m) молекул, их взаимным расстоянием (d) и силами молекулярного притяжения (p) и отталкивания (q). Соотношение между этими элементами для магнитного металла должно быть таково, чтобы массы молекул могли воспринять магнитные колебания (магнитный удар), возбуждаемые магнитным полем; если междумолекулярные напряжения вполне упруги (как, напр., в сильнозакаленной и слегка отпущенной стали), то магнитные колебания продолжаются в металле и по выходе из магнитного поля, а если эти напряжения вовсе неупруги (как, напр., в чистом мягком железе, хорошо отожженном), то металл по выходе из магнитного поля размагничивается. Но есть металлы почти совсем не магнитные (напр., — Cu, Al, Mn), соотношение между массами молекул, молекулярными напряжениями и расстояниями между молекулами таково, что магнитная индукция остается для них нечувствительною. Это может быть иллюстрировано способностью натянутой струны резонировать, отвечать на известный тон. Для этого необходимо, чтобы было налицо известное соотношение между массою струны, ее длиною и ее натянутостью, при чем в довольно широких рамках может быть изменяем каждый из этих трех элементов, при соответственных изменениях одного или-же обоих других и тон струны будет оставаться неизменным. Подобно этому, металл может оставаться магнитным при нагревании, если с увеличением расстояний между молекулами соответственно изменяются междумолекулярные напряжения, до тех пор, пока при наступлении некоторой температуры надлежащее соотношение между вышеназванными элементами нарушится. Справедливость такого предположения вполне подтверждается возможностью приготовить вполне магнитный сплав из немагнитных металлов, а также изменением магнитных свойств никкелевой стали при очень низких температурех. Вот почему, мне кажется, для объяснения магнитных превращений в железе и стали при переходах критической точки A_2 Осмонда нет необходимости приписывать их переходу железа в какое-либо аллотропическое состояние.

Принимая во внимание вышеизложенное, можно видеть, что выбранное Осмондом общее родовое обозначение для первых трех критических точек, хотя-бы и совпадающих в одну общую точку для стали с содержанием углерода около 0,9% и выше, — не вполне удачно и может быть терпимо ради давности и большого распространения этого обозначения; главным же образом — ради вечной памяти о великом, неутомимом и плодотворном исследователе,

положившем прочный фундамент для современной науки о металлах.

Два слова о форме моей диаграммы превращений в стали и железе.

Начертив линию *oc* в горизонтальном положении, отметим на ней мои особенные точки (называемые критическими): (*a*), (*b*) и (*X*), как это было намечено мною на докладе Имп. Русск. Техн. О-ву в 1868 году (фиг. I). Пусть эта линия соответствует стали средней твердости (около 0,5% углерода); выше этой линии проведем линию $o'c'$, соответствующую железу (0,0% углерода), и линию $o''c''$ ниже линии *oc*, соответствующую предельному содержанию углерода в стали (2% углерода). Наметим пунктирными линиями те пути, по которым, согласно указаниям того-же доклада, точки *a*, *b* и *X* от средней линии должны перемещаться по направлению к линии $o'c'$ (для железа) и по направлению к линии $o''c''$ (для чугуна), принимая во внимание различные скорости их сдвига по направлению от точек *o*, o' и o'' к точкам *c*, c' и c'' и обратно. Затем, под фиг. I нанесем левую половину современной диаграммы для железоуглеродистых сплавов, повернув ее тоже в горизонтальное положение (фиг. II). По существу никакой разницы нет; в частности прибавились две линии: путь критической точки A_3 Осмонда и гипотетическая линия выделения цементита (сверх — эвтектоидного).

Мне кажется, что вышеизложенное достаточно подробно отвечает на поставленный мне вопрос. Во всяком случае, я не откажусь в мере возможности отвечать на обращаемые ко мне в категорической форме вопросы.

С чувством глубокого уважения и искренней преданности, всегда готовый к услугам.

Д. Чернов.

10 ноября 1916 г.
Ялта, гостинница Метрополь

„НЕВОЗМОЖНОЕ“ [1]).

Методы решения при помощи линейки и циркуля геометрических задач о трисекции угла, выпрямлении дуги окружности, квадратуры круга.

(Лекция, прочитанная Д. К. Черновым в Ялте в марте месяце 1920 г.) [2]).

Предлагаемые на рассмотрение три задачи необходимо решить не при помощи алгебраических или арифметических действий над данными числовыми величинами, но чисто графическим путем, единственно при помощи линейки и циркуля, действуя с реальными, данными чертежом величинами, то-есть таким способом, как, напр., достигается превращение реального, данного чертежом треугольника в равновеликий ему квадрат. Из подобных задач решение некоторых

---

[1]) Задачи трисекции угла, выпрямления окружности и квадратуры круга принадлежат к числу знаменитейших задач древности. Папирусы Египта, священные книги Индии, клинописи Вавилона свидетельствуют, что задачу о квадратуре нужно относить к седой древности. Разделить угол на три равные части, построить прямую, равную длине окружности, или квадрат, равновеликий кругу, ставили себе многие замечательные геометры древности.

Их попытки решить эти задачи при помощи циркуля и линейки постоянно оканчивались неудачей.—Не более успеха имели арабские и европейские исследователи. По мере развития наук математических, безплодные попытки решить эти задачи стали вызывать, наконец, среди серьезных ученых сомнение в возможности решения поставленных задач при помощи только циркуля и линейки.

Сомнение это в конце концов разрешилось в определенное заявление Парижской Академии Наук в 1775 г. (а затем и других), гласящее:

„Академия постановила не рассматривать представляемых ей решений задач удвоения куба, трисекции угла, квадратуры круга, а также машин, долженствующих осуществить вечное движение“ (Histoire de l'Academie royale, année 1775, p. 61). Это заявление было подробно мотивировано секретарем Академии Condorcet.

Последующими работами Абеля и Галуа окончательно доказана невозможность решения задачи трисекции при помощи циркуля и линейки, а работами Lindemann'a в 1882 г. установлено, что задача о квадратуре круга не может быть решена не только с помощью циркуля и линейки, но даже с помощью алгебраических кривых.

Более подробные сведения относительно рассматриваемых задач можно найти: 1) F. Enriques „Questioni riguardanti la Matematiche elementari“, 1912 2) Рудио „Архимед, Гюйгенс, Лежандр, Ламберт о квадратуре круга“, 1912.

Попытку Д. К. Чернова следует рассматривать не, как решение поставленной задачи при помощи циркуля и линейки, а, как способ деления угла на три части при помощи винтовой линии. *Прим. ред.*

[2]) Печатается почти без изменений оригинала. Чертежи, в количестве 10 фигур, ввиду невозможности их воспроизведения по техническим причинам, опущены, что по мнению редакции, принимая во внимание простоту и ясность изложения, не представит особых затруднений для читателя.

Прим. ред.

из них, как, напр., деление угла пополам, достигается просто, имея в основе известные теоремы теоретического курса геометрии. Для деления же угла на три части нет никаких указаний в теоретических курсах, нет ничего, что бы дало возможность теоретически обосновать и доказать правильность произведенных построений.

При делении геометрическим построением угла пополам точность решения зависит от индивидуальных качеств исполнителя, совершенства инструментов, качества материала, на котором чертят. Все эти привходящие обстоятельства, неимеющие значения при алгебраических действиях, влекут за собою ошибку. Как, напр., найти на чертеже, на реальной, имеющей толщину, линии место геометрической линии? Как найти истинную точку пересечения двух линий, если она на чертеже превратилась в площадку? Все это необходимо оговорить заранее и указать, что при решении геометрических задач построением не может быть разговора об абсолютной точности.

Итак, при решении предложенных задач весь вопрос сводится к тому, что надо сделать, а не к тому, будет ли достигнута идеальная точность. Оговорив заранее это, приступим к решению первой задачи: трисекции угла. Из методов, предложенных для решения этой задачи, заслуживает упоминания метод Диностр ата, нашедшего решением квадратного уравнения линию, названную им квадратриссой[1]), при помощи которой он и предполагал достигнуть решения вопроса о трисекции угла, но указанный метод не может считаться подходящим, так как он основан на алгебраических вычеслениях, что противоречит условию задачи. Для отыскания посредника, могущего быть связывающим звеном между элементами угла и его делением, необходимо выйти из плоскости чертежа и в качестве связующего звена воспользоваться цилиндрической спиралью.

Представим себе полуцилиндр, обращенный выпуклой стороной к наблюдателю. Для получения спирали делим одну четверть окружности основания на восемь частей; на образующих цилиндра, восставленных из точек деления, отмечаем крутизну подъема спирали в любой последовательности; соединяя отметки линией, получим спираль. Если горизонтальными плоскостями, параллельными основанию, отсечем две рядом лежащие части цилиндра так, чтобы полученные вырезки имели одинаковые высоты, то и части спирали, находящиеся на обоих вырезках, будут совершенно тождественны между собою, а их проекции на окружность основания — совершенно одинаковы. Если часть окружности будем проектировать на спираль, то получим

[1]) Квадратисса была предложена для решения задачи трисекции не Диностратом, а софистом Гиппием из Элиды (420 г. до Р. Х.). Динострат же употреблял ее для решения задачи о квадратуре круга. Как приемы Гиппия, так и методы Динострата — чисто геометрические. Ни о каких алгебраических вычислениях в ту эпоху не могло быть и речи. *Прим. ред.*

как раз такой участок спирали, проекция которого на основание есть проектируемая часть окружности. Если теперь разделить разность высот крайних точек, полученного отрезка спирали, на три равные части и провести через точки делений и данный участок спирали плоскости, параллельные основанию, то спираль разделится на три равные части, проекции которых на данную часть окружности будут равны; следовательно, самая окружность и угол, ею стягиваемый, разделятся на три равных части.

Деление угла не зависит от крутизны спирали: какая бы ни была дана дуга, проектируем ее на спираль; проводим через концы проекций линии, параллельные основанию, и полученную разность высот делим на любое число частей. Так как деление дуги заменено делением прямой, которую можно делить не только на любое число равных частей, но и на части, находящиеся между собою в произвольном рациональном отношении, то и самую дугу и угол, ею стягиваемый, можно делить на такие же части. Итак, указанным путем можно делить угол на любое количество частей, и не только угол, равный части окружности, но и всю окружность, для чего нужно взять полный цилиндр и полный оборот спирали. Таким же путем можно делить и углы большие 360°, взяв более одного оборота спирали (напр., разделить угол в 560 градусов на 75 частей). Деление углов, больших 360°, имеет практическое значение; так, напр., при круговой поляризации, где красные линии спектра лития отклоняются каждым миллиметром кварцевой пластинки на 15 градусов, а фиолетовая *H* Фрауенгофера — на 51°. Итак, указанный метод представляет собою универсальный способ деления углов и может быть назван не только трисекцией, но и полисекцией углов.

Разрешив вопрос о трисекции угла, перейдем к рассмотрению второй задачи о выпрямлении дуги окружности. И здесь нет, пока, способов для получения отрезка прямой линии длиною совершенно равною данной дуге. Когда мною был разрешен вопрос о трисекции угла, то возникла мысль, а какую же спираль лучше чертить, чтобы получить точное нахождение точек пересечения. Устранить это затруднение весьма важно хотя бы для того, чтобы избегнуть пересечения линий проекций под очень острыми углами. Чтобы избегнуть получения очень острых углов, лучше всего выбирать спираль с крутизною в 45°, так как все отметки на ней как с горизонтальными, так и с вертикальными линиями одинаково ясны. При выборе спирали возник и получил разрешение вопрос, а что такое сама спираль.

Если спираль будем чертить с левого угла основания цилиндра, то она представится, как гипотенуза прямоугольного треугольника, горизонтальный катет которого опоясывает цилиндр по основанию, а вертикальный есть шаг винтовой линии. Таких треугольников, изменяя угол крутизны, можно построить сколько угодно, при чем

горизонтальный катет всех треугольников будет оставаться постоянным и равным длине окружности, вертикальный будет образовывать шаг винта, а гипотенуза, облегая цилиндр, будет образовывать самую спираль. Так как при трисекции угла лучше брать спираль с крутизною в 45 градусов, то при этом условии треугольник будет равнобедренным; таким образом, при равнобедренном треугольнике шаг винта будет равен длине окружности основания, так как в равнобедренном прямоугольном треугольнике катеты равны. Значит, если бы мы могли прямо на данном цилиндре начертить спираль 45-градусного уклона, то тем самым развернули бы окружность. Для решения рассматриваемой задачи воспользуемся сказанным выше, что спираль является гипотенузой всех прямоугольных треугольников, опоясывающих цилиндр. Возьмем такой прямоугольный треугольник и будем опоясывать им цилиндр; начнем с левого угла основания: как только горизонтальный катет встретит свою исходную точку, то-есть будет равен, по длине, длине окружности основания, спираль даст как раз один полный оборот.

Следовательно, окружность основания равна по длине горизонтальному катету прямоугольного треугольника, гипотенузой которого является полный оборот спирали с произвольной любой крутизною. Но как же найти величину горизонтального катета, имея в качестве известного лишь вертикальный катет? Возьмем прямоугольный треугольник равный треугольнику, образованному нашей спиралью, приложим этот треугольник к цилиндру в виде жесткой пластины и будем окатывать его, не сгибая, около цилиндра; гипотенуза окатывающего треугольника будет всегда представлять касательную к спирали в точке, приходящейся на производящей, к которой треугольник прилегает в данный момент. Приняв за начало координат левый угол основания цилиндра и остановив обкатывание, когда гипотенуза будет касаться цилиндра в средней точке спирали, проведем касательную до пересечения ее с осью абсцисс. Если из точки касания провести перпендикуляр к оси абсцисс, то получится прямоугольный треугольник, равный и подобный треугольнику образованному одною четвертью оборота нашей спирали, то-есть такой треугольник, у которого, согласно сказанному выше, горизонтальный катет в точности по длине равен длине одной четверти окружности основания нашего цилиндра. Таким образом длина полученной подкасательной есть точная длина „выпрямленной“ одной четверти окружности основания.

Для построения касательной можно пользоваться обычным в геометрии способом проведения касательных к какой угодно кривой. Проводим в точке касания секущую и будем ее поворачивать около точки касания так, чтобы точка пересечения постоянно приближалась к точке касания и, наконец, с нею совпала; это предельное поло-

жение секущей довольно хорошо определяет истинное положение касательной. Итак, решение задачи сводится к тому, чтобы провести касательную к спирали любой крутизны. Коррективом в деле проведения касательной к спирали могут служить две соседние точки на спирали; пользуясь ими при улучшенных инструментах и увеличенном масштабе, можно провести касательную к спирали в точке ее перегиба очень точно. Еще большей точности можно достигнуть, проведя около точки касания на цилиндре несколько линий помощью циркуля, взяв их общим центром точку касания. Проведенные окружности дадут со спиралью при пересечении ряд взаимно симметрических точек. Проводя касательные к симметричным точкам, получаем пары параллельных линий, равномерно, при приближении симметричных точек к центру, меняющих свое направление; расстояние между ними уменьшается, и при приближении к центру линии как бы сливаются в одну, которая весьма с большою точностью определяет истинное положение касательной к спирали в точке ее перегиба. Черчение указанных линий очень облегчается и делается безошибочно точным при помощи прибора вроде двух стекляных линеек, соединенных шарнирами. Проведя касательную и отмерив длину подкасательной, получим длину одной четверти окружности основания. Произведенные мною опыты с окружностью в 40 сантиметров дали при применении указанного метода точность до четвертого десятичного знака „π“, то-есть такую, которою ограничиваются при составлении таблиц круговых функций. Итак, при помощи цилиндрической спирали можно разрешить задачу о выпрямлении графическим путем окружности и найти ее длину с точностью не меньшею, как и при решении графическим путем любой обыкновенной геометрической задачи.

Таким образом мы в результате имеем развернутую окружность исключительно при помощи циркуля и линейки. Раз мы данную окружность получили в виде прямолинейного отрезка, — разрешить задачу о квадратуре круга не представит никаких затруднений. Для этого на оси „иксов“ (абсцисс) построим окружность с диаметром равным длине половины данной нам окружности. На диаметре, от точки пересечения его с окружностью (точка „c“), отложим отрезок равный радиусу данной окружности; из полученной точки „a“ восставим перпендикуляр до встречи с проведенною окружностью в точке „b“. Соединив точки „b“ и „c“ прямой линией, получим хорду A, которая есть среднее пропорциональное между диаметром проведенной окружности (πR) и радиусом данной окружности (R); итак $\frac{\pi R}{A} = \frac{A}{R}$, откуда $A^2 = \pi R^2$. Это „A в квадрате“ (A^2) и есть тот таинственный квадрат, полученный согласно условию задачи, который был скрыт непроницаемой завесою в течение веков.

III.

ИЗБРАННАЯ ПЕРЕПИСКА.

ИЗ ПЕРЕПИСКИ Д. К. ЧЕРНОВА С ПРОФ. E. HEYN'OM. ПИСЬМО ПРОФ. A. SAUVEUR'A.

---

1. Письмо Д. К. Чернова профессору Heyn'y в Шарлоттенбурге.

Спб., 6/19 сентября 1902 г.

Многоуважаемый профессор

В виду Вашего знакомства с русским языком я решился писать Вам по-русски и очень был бы рад получить от Вас ответ также на русском языке.

Я очень доволен своим визитом в Дюссельдорф[1]), так как сделал очень приятное для меня личное знакомство с Вами и с многими лицами, которых знал лишь только по их литературным трудам. Глубоко сожалею, что почти вовсе не понимаю по английски и потому не мог следить за прениями по докладам на митинге. Особенно меня интересовал Ваш доклад и Ваши прения с M-r Stead. Если в немецкой литературе появится подробный отчет об этом, то я очень просил бы Вас сообщить мне — где он будет напечатан.

С этою же почтою я отправляю Вам в двух открытых пакетах (текст и атлас) работу Ржешотарского: „Микроскопические исследования железа, стали и чугуна", о высылке которой я записал на Вашей карточке за завтраком у Круппа.

В ожидании Вашего уведомления о получении посылаемых пакетов, прошу Вас, многоуважаемый коллега, принять уверение в моем искреннем к Вам уважении.

Д. Чернов.

---

[1]) Для присутствия на металлургическом съезде, устроенном Английским Институтом Железа и Стали (The Iron and Steel Institute). *Прим. ред.*

2. Ответное письмо Е. Heyn'а Д. К. Чернову.

Шарлоттенбург, 24/IX 1902 г

Многоуважаемый профессор

Вы хотите, чтобы я отвечал на Ваше письмо по-русски. Ну хорошо — смелым Бог владеет, но за последствия моей смелости не отвечаю. Сердечно благодарю Вас за любезную присылку работы господина Ржешотарского, которую сейчас принялся перечитывать с вниманием. Честь имею отправить Вам с этою же почтою брошюру о болезнях железа и меди, в которой идет речь и о том, что напечатано в моем докладе в Дюссельдорфе. До сих пор другого ничего не появилось в немецкой литературе об этом предмете.

Я все надеялся увидеться еще раз с Вами на выставке. Мы каждый день обедали с господином Мартенсом в Festhalle, и я случайно уведомил об этом господина Рубина. Очень сожалею, что не случилось познакомить Вас с господином Мартенсом.

Как только по-немецки появится какой-либо отчет о прениях в Дюссельдорфе, я непременно отправлю его по Вашему адресу, но думаю, что отчета не будет.

Я очень рад, что в Дюссельдорфе имел высокую честь познакомиться с Вами. Теперь знаю в лицо всех пионеров нашей науки, кроме господина Осмонда.

До скорого свидания в 1904 году в Петербурге, на съезде Международного Общества по испытанию материалов.

Будьте уверены, милостивый государь, что я остаюсь с величайшим к Вам уважением.

Ваш покорный слуга *E. Heyn.*

3. Ответ Д. К. Чернова профессору Heyn'у на его письмо.

$\frac{22-\text{IX}}{5-\text{X}}$ 1902, St. Pétersbourg.

Многоуважаемый профессор!

Сердечно благодарю Вас за присланные при Вашем, прекрасно написанном по-русски письме от 24/IX, две брошюры: „Rapport du laboratoire de Charlottenburg“ и „Krankheitserscheinungen in Eisen und Kupfer“. Я так долго не отвечал Вам потому, что хотел сперва прочесть эти статьи, и только сегодня удалось окончить чтение. Меня очень заинтересовали Ваши исследования над ломкостью меди в связи с влиянием водорода и образованием закиси меди и эвтектики ее с медью в медных брусках под влиянием нагрева при различных условиях. Что касается болезней железа и стали, то я очень давно

писал о них, и если Вы имеете знакомство с французской и английской металлургической литературой, то наверное встречали не раз указания на мои работы. Если Вы прочтете в „Engineer“ от 23 июня 1876 г. или в „Engineering“ от 30 июля того же года статьи редакций по поводу первого перевода моих исследований о структуре стали, а в следующих нумерах этих журналов мои работы in extenso, а также в январьской книжке „Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers“ 1880 г. статью под заглавием „On the structure of cast-steel ingots“, то увидите, что я занимался металлографическими исследованиями еще ранее проф. Мартенса, и что американский металлург Sauveur вполне прав, когда он писал мне: „Vous avez fait la théorie du traitement calorifique des aciers, du main de maître, et vos disciples ont ajouté relativement peu à vos importantes propositions“.

Мне кажется, что в Германии редко упоминают о работах в других государствах, хотя бы они появились в литературе и ранее немецких. По крайней мере я замечаю это по отношению к моим работам; иногда прямо повторяют мои опыты, даже моими словами объясняют наблюдаемые явления, а моего имени не упоминают. Возьмите „Siderologie“ барона Юптнера или „Eisenhüttenkunde“ Ледебура и мн. друг. . . Впрочем, во всякой стране свои обычаи.

Ели Вы поинтересуетесь моими работами, то некоторые из них могу прислать Вам. Очень жалею, что не удалось познакомиться лично с проф. Мартенсом.

Примите уверение в моем совершенном к Вам уважении

Д. Чернов.

4. Письмо проф. Е. Heyn'а Д. К. Чернову.

Шарлоттенбург, 13/x 1902.

Многоуважаемый профессор!

С большим интересом я прочитал Ваши сочинения, опубликованные в „Engineering“ и в „Proceedings of the Inst. of Mech. Eng“. До сих пор я только изредка находил неопределенные ссылки на Ваши работы, и насколько мне помнится, в сочинениях г-на Осмонда. Тем более я рад, что теперь знаком с ясными и дальновидными исследованиями, которые Вы опубликовали уже много лет назад. Поскольку они имеют отношение к перегреванию стали, я буду считать своим прямым долгом указать на них в моих письменных возражениях на прениях по поводу моего доклада. Вы вполне правы, утверждая, что Вы уже в 1876 году или даже раньше установили

факт, что, начиная с известной температуры (*b*), сталь обнаруживает склонность к перегреванию, и что перегретую сталь можно снова исправить, нагревая ее до температуры (*b*). В то же время Вы уже тогда указали на различие между перегревом и пережогом стали. Позволяю себе заметить, что в наших работах находятся и несовпадающие пункты, и я был бы очень рад, если бы Вы и последним уделили Ваше особенное внимание.

Вы пишете, что особенно в Германии редко упоминают о работах, сделанных в других государствах. Что касается до Вас лично, то это весьма печальное явление, что все страны виновны в одинаковой степени, и я не понимаю, почему Вы особенно обвиняете Германию, ибо ни одно из Ваших сочинений не появилось на немецком языке. Они опубликованы в английских журналах, и поэтому можно было ожидать, что в Англии о Ваших работах должны иметь более понятия, чем у нас. Между тем отчет о прениях по моему докладу, которым я в настоящее время располагаю, не доказывает этого, потому что г. Ridsdale прямо утверждает, что он первый открыл фундаментальные явления перегревания стали в 1898 году. Из сказанного Вы видите, что Ваши упреки по отношению исключительно Германии не совсем справедливы. Насколько мне известно из моей практики, я могу смело утверждать, что в Германии более, чем в других странах, серьезно следят за выходящей иностранной литературою и что для этой цели специально занимаются языковедением. Если бы Вы знали, с каким трудом мне достались Вами отмеченные старые английские журналы (особенно „Proceedings“), то Вы бы менее резко осуждали за то, что в Германии до сих пор не знакомы с Вашими интересными трудами, и Вы бы не сделали незаслуженный упрек профессору Ледебуру в том, что он не упоминает Вашего имени.

Вы дальше пишете, что Вы занимались металлографическими исследованиями ранее профессора Мартенса. Насколько мне знаком профессор Мартенс, он не придает особенного значения тому, действительно ли он первый исследовал при помощи микроскопа железо. По моему мнению нельзя оспаривать заслугу г-на Мартенса в том, что он первый сознательно задался целью употребить микроскоп для службы при испытании металлов, и что он, несмотря на долгие годы борьбы и трудности, достиг цели, которую преследовал.

Если Вы соблаговолите прислать мне Ваши сочинения, то я буду Вам за это весьма признателен.

Примите, многоуважаемый профессор, удостоверение моего величайшего к Вам уважения и остаюсь с совершенным почтением

Ваш покорный слуга *E. Heyn*.

5. Ответ Д. К. Чернова проф. E. Heyn'y на предшествующее письмо последнего.

Спб. $\frac{10}{23}$ X 1902.

Многоуважаемый профессор.

Письмо Ваше от 13/x прочел с большим удовольствием; но считаю долгом высказать Вам, что всегда глубоко уважал и теперь уважаю такого заслуженного профессора, как г. Мартенс, который действительно своею настойчивостью провел в жизнь металлографию. Я в своем письме только упомянул, что ранее появления работ проф. Мартенса уже занимался микрографией стали, но очень мало говорил о своих работах в печати. Сам проф. Мартенс упоминает о моих работах в своих первых статьях (в конце статьи в „Zeitschr. d. Ver. d. Ing", 1880, XXIV).

Так как у меня теперь почти не осталось отдельных оттисков моих статей, то я сделал заказ книгопродавцу Вольфу, чтобы он достал для меня такие оттиски, и по мере получения их буду посылать Вам. Позволяю себе просить Вас присылать мне Ваши работы, если вы будете что-нибудь печатать; это доставит мне очень большое удовольствие.

Прошу Вас, многоуважаемый коллега, принять уверение в моем искреннем к Вам уважении и совершенном почтении

Д. Чернов.

6. Письмо проф. E. Heyn'a Д. К. Чернову.

Шарлоттенбург, 2/xi 1902.

Многоуважаемый профессор!

Сердечно благодарю Вас за присланный мне отдельный оттиск Вашей классической работы и за Ваше письмо от 23/x. Буду считать честью присылать Вам мои брошюры в будущем, и я был бы очень благодарен, если и Вы одолжили бы меня присылкою трудов Ваших и учеников Ваших.

Вот что напечатано в моем ответе на прения по моему докладу в отношении Вас:

„The claim of priority put forward by Mr. Ridsdale to certain of the statements contained in the authors papers was disposed of in the simplest way by saying, that all right of priority in these matters belongs incontestably to Professor Tschernoff of St. Petersburg, who as far back as 1868 had dealt with the primary phenomena of overheated steel in a far-seeing manner. It was with great pleasure that

he (Heyn) was able to bear testimony to the excellent work of Professor Tchernoff, and he only regretted that he had not been previously acquainted with the contents of his article published in „Engineering“ 1876, July, page 11 under the title of: „The Structure of Steel. Remarks on the Manufacture of Steel and the Mode of Working it“. His (Prof. Heyn's) work might be regarded as a continuation and extension of the laws then observed, and he was pleased, that the groundwork laid down by Mr. Tchernoff, at which he (Heyn) haid unconsciously been further working, was of so trustworthy and solid a nature“ [1]).

Примите, многоуважаемый профессор, удостоверение моего величайшего к Вам уважения и остаюсь с совершенным почтением.

Ваш покорный слуга *E. Heyn.*

7. Письмо проф. Е. Heyn'а Д. К. Чернову.

Charlottenburg 13/III 1903.

Многоуважаемый профессор!

Примите мою сердечную благодарность за любезную присылку Вашей значительной работы. Нет сомнения, что было бы чрезвычайно необходимо, чтобы Вы еще раз опубликовали Ваши сочинения. В то время, когда они появились, человечество считало себя вправе упускать из виду русскую литературу. Как несправедливо такое отношение, это Вы доказываете до полной очевидности Вашими трудами.

С совершенным почтением и с сердечным поклоном

Ваш *E. Heyn.*

---

[1]) В переводе на русский язык это гласит:

„Претензия на приоритет, оспариваемая г. Ридсдалем в отношении некоторых, содержащихся в докладе автора (Гейна) заключений, разрешается чрезвычайно просто, если указать, что все права на приоритет в данном случае принадлежат бесспорно профессору Чернову из Петербурга, который еще много времени тому назад, в 1868 г., охватил сущность основных явлений перегрева стали самым дальновидным образом. Автору доставляет большое удовольствие, что он может засвидетельствовать достоинства работы Профессора Чернова, и единственно, о чем он сожалеет, это о том, что не успел раньше познакомиться с содержанием его (Чернова) статьи, напечатанной в „Engineering“ за июль 1876 г. стр. 11, под названием: „Структура стали. Заметки о производстве стали и способах ее обработки“. Поэтому работу докладчика (проф. Гейна) следует рассматривать, как продолжение и развитие общих положений, ранее установленных, и он очень рад, что фундамент, заложенный г. Черновым, на котором он (Гейн), не подозревая вовсе о его существо[illegible]явился продолжателем, оказался столь надежной и прочной постройки[illegible]



